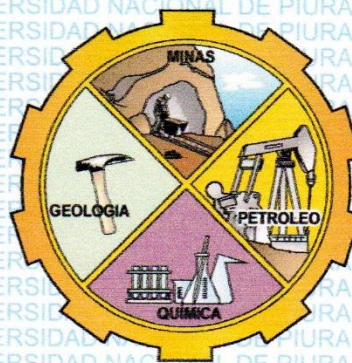


UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería de Minas

Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL RECuento DE BACTERIAS POR EL
MÉTODO DE DILUCIÓN POR EXTINCIÓN - MÉTODO API
Rp38 PARA EL USO DE BIOCIDAS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO CARRIZO LOTE X”**

Presentada Por:

Bach. DIEGO DELFÍN FERIA JIMÉNEZ

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE PETRÓLEO**

Línea de Investigación:

**Aprovechamiento y Gestión Sostenible del Ambiente
y los Recursos Naturales**

PIURA-PERÚ

AÑO 2019

**DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

YO, DIEGO DELFÍN FERIA JIMÉNEZ, identificado con DNI N° 72700687, en condición de egresado, de la Facultad de Ingeniería de Minas, Escuela Profesional de Petróleo y domiciliado en la Dirección AAHH. MICAELA BASTIDAS MZ B3 LOTE 6, distrito de Piura, provincia de Piura, Departamento de Piura, Celular: 967463763, Email: diko_28@hotmail.com

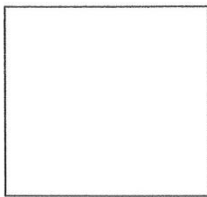
DECLARO BAJO JURAMENTO: que el trabajo de investigación que presento a la Oficina Central de Investigación (OCIN), es original, no copia parcial ni total de un trabajo de investigación desarrollado, y/o realizado en el Perú o en el Extranjero, en caso resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el art., N°411, del Código Penal concordante con el art. 32° de la Ley N°27444, y la Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

Piura, 08 de mayo del 2019



BR. DIEGO DELFIN FERIA JIMÉNEZ

DNI N° 72700687



Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo hace una falsa declaración en relación a hechos o circunstancia que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecido por ley, será reprimido de su libertad no menor a uno ni mayor a cuatro.

Art. 4. Inciso 4.12 del reglamento del registro nacional de trabajos de investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI Resolución de Consejo Directivo N°033-2016-SUNEDU/CD

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería de Minas

Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL RECUENTO DE BACTERIAS POR EL
MÉTODO DE DILUCIÓN POR EXTINCIÓN - MÉTODO API
RP38 PARA EL USO DE BIOCIDAS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO CARRIZO LOTE X”**

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA DE PETRÓLEO**

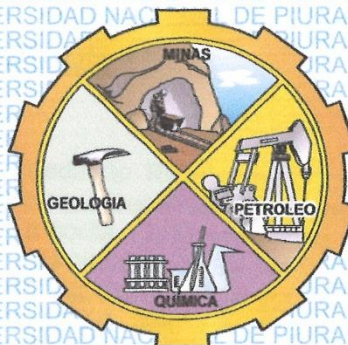
Bach. DIEGO DELFIN FERIA JIMÉNEZ
EJECUTOR

ING. AQUILES PORTAL TAFUR
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería de Minas

Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL RECuento DE BACTERIAS POR EL
MÉTODO DE DILUCIÓN POR EXTINCIÓN - MÉTODO API
RP38 PARA EL USO DE BIOCIDAS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO CARRIZO LOTE X”**

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE PETRÓLEO**

DR. ING. WILMER ARÉVALO NIMA
PRESIDENTE

M.Sc. ING. JUAN C. ALIAGA RODRÍGUEZ
SECRETARIO

DR. ING. ROYVEL CARHUACHIN GUTIÉRREZ
VOCAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PETRÓLEO



**“EVALUACIÓN DEL RECuento DE BACTERIAS POR EL MÉTODO DE
DILUCIÓN POR EXTINCIÓN -MÉTODO API RP38 PARA EL USO DE
BIOCIDAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO CARRIZO LOTE X”**

TESIS

PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS PARA OPTAR EL
TÍTULO DE INGENIERO DE PETRÓLEO

DR. ING. Wilmer Arévalo Nima
Presidente del Jurado Calificador

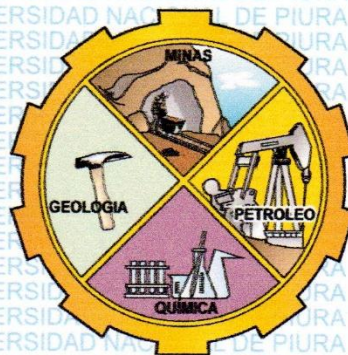
Juan Carlos Aliaga Rodriguez
Secretario del Jurado Calificador

Royveli Carhuachin Gutierrez M.Sc

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería de Minas

Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL RECuento DE BACTERIAS POR EL
MÉTODO DE DILUCIÓN POR EXTINCIÓN - MÉTODO API
RP38 PARA EL USO DE BIOCIDAS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO CARRIZO LOTE X”**

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE PETRÓLEO**

DR. ING. WILMER ARÉVALO NIMA
PRESIDENTE

M.Sc. ING. JUAN C. ALIAGA RODRÍGUEZ
SECRETARIO

DR. ING. ROYVELI CARHUACHIN GUTIÉRREZ
VOCAL




UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
DECANATO

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

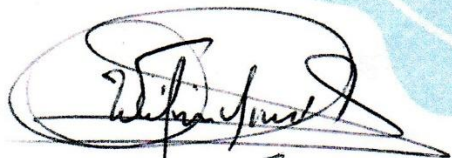
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 560-CF-2019, de fecha diez de junio de dos mil diecinueve, que suscriben, reunidos el día martes veintidós de octubre de dos mil diecinueve, a horas 11:00 a.m., en la Sala de Conferencias - FIM, para la sustentación de la Tesis titulada "EVALUACIÓN DEL RECuento DE BACTERIAS POR EL MÉTODO DE DILUCIÓN POR EXTINCIÓN - MÉTODO API RP38 PARA EL USO DE BIOCIDAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO CARRIZO LOTE X", conducida por el señor Bachiller en Ingeniería de Petróleo **FERIA JIMÉNEZ DIEGO DELFÍN**, la misma que cuenta con el asesoramiento del Ing° **Aquiles Portal Tafur**. Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, lo declaran:

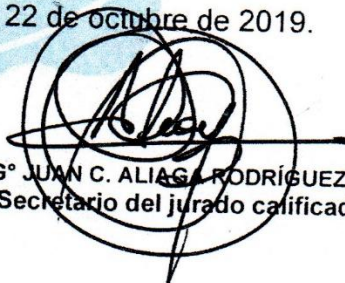
DESAPROBADO	APROBADO			
	Bueno	Muy Bueno	Sobresaliente	Excelente
		_____	_____	_____

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE PETRÓLEO**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 22 de octubre de 2019.



DR. ING° WILMER ARÉVALO NIMA
Presidente del jurado calificador



ING° JUAN C. ALIAGA RODRÍGUEZ M.Sc.
Secretario del jurado calificador



ING° ROYVEL CARHUACHÍN GUTIÉRREZ M.Sc.
Vocal del Jurado Calificador.

DEDICATORIA

A mi madre, Aurelia Jiménez Rimaycuna, a quien tanto amo, por ser mi mayor apoyo en los momentos más difíciles de mi vida, quien, con su infinito amor, supo darme la fuerza y valor para enfrentarme a ella.

A mi padre, Delfín Feria Purizaca, a quién quiero, respeto por ser quien me inculca a ser un mejor ser humano cada día.

A mi pequeño hermano, quien partió muy pronto, pero es mi ángel.

A Karen; mi enamorada, mi apoyo, con quien comparto gratos momentos y quien a lo largo de los años me demuestra que el amor requiere dedicación y respeto mutuo.

Ustedes a quienes les debo el orgullo de verme alcanzar una de mis primeras metas y sentirme realizado como profesional en la carrera que tanto anhelé.

DIEGO FERIA

AGRADECIMIENTO

A Dios nuestro creador por darme a mí una nueva oportunidad para alcanzar mis metas y sueños, por guiarnos en el camino, ser el símbolo de nuestra Fe y nuestra fuerza espiritual.

A mis padres por brindarme su apoyo económico y moral para realizar este proyecto especial de investigación.

A la Universidad Nacional de Piura, nuestra alma máter, que ha sido la instructora de gran parte de los conocimientos que poseo a nivel profesional.

A China National Petroleum Corporation (CNPC) empresa que me permitió aplicar mis conocimientos académicos y llevar a cabo la investigación para hacer posible este trabajo.

A Ing. Aquiles D. Portal Tafur quien, a pesar de los imprevistos siempre tuvo la disposición de ayudar y brindarme parte de su conocimiento. A Uds. Infinitas gracias.

A todos quienes directa o indirectamente me apoyaron en la realización de esta investigación.

DIEGO FERIA

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....	2
1.1. RESEÑA HISTÓRICA	2
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3. SITUACIÓN ACTUAL	2
1.4 GENERALIDADES DEL CAMPO DEL LOTE X.....	2
 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	 4
2.1. ASPECTOS GENERALES.....	4
2.2. BACTERIAS SULFATO REDUCTORAS	5
2.2.1. Ciclo de azufre.....	7
2.2.2. Fisiología de las Bacterias Sulfato Reductoras.....	8
2.2.2.1. Mecanismo de respiración de las Bacterias Sulfato Reductoras	8
2.2.2.2. Sustratos utilizados por las Bacterias Sulfato Reductoras.....	9
2.3. GENERALIDADES DE LAS BIOPELÍCULAS	9
2.3.1. Mecanismo de formación de las Biopelícula.....	10
2.3.1. Transporte.....	10
2.3.2. Unión inicial	11
2.3.3. Adhesión.....	11
2.3.4. Proliferación	12
2.3.5. Formación de la biopelícula	12
2.3.6. Estructura de la biopelícula	13
2.3.6.1. Sustancias poliméricas extracelulares	13
2.3.7. Conformación de la biopelícula.....	13
 CAPITULO III: CAUSAS DE CORROSIÓN EN EQUIPOS DE CAMPOS	
PETROLEROS.....	15
3.1. ASPECTOS GENERALES.....	15
3.2. DEFINICIÓN DE CORROSIÓN.....	15
3.3. AMBIENTE ELECTROQUÍMICO	15
3.3.1. Factores Metalúrgicos	17
3.3.2 Factores de Fabricación	17
3.3.3 Factores de Operación de campos	17
3.4. REACCIONES ELECTROQUÍMICAS TÍPICAS IDEALIZADAS	17
3.5. APARIENCIA DE PÉRDIDA DE METAL POR CORROSIÓN	18
3.5.1. Sulfuro de Hidrógeno – Picadura y Ataque General	18
3.5.2. Dióxido de Carbono – Ataque por Picadura.....	18
3.5.3 Salinidad con alto contenido de cloruro-PH 6.0-7.0.....	19
3.5.4. Ácidos - 15% HCl y Ácidos Gastados.....	19
3.5.5. Bacterias Sulfato - Reductoras	20
3.5.6. Corrosión / Erosión – Efecto de Alta Velocidad	20

3.5.7. Corrosividad vs. pH del Agua	20
3.5.8. Corrosión vs. Sulfuro de Hidrógeno y Dióxido de Carbono	21
3.5.9. Tasa de Corrosión vs. Velocidad y Temperatura.....	23
3.5.10. Tasa de Aceleración del Desarrollo de la Picadura	23
3.6. SENSIBILIDAD AL HIDRÓGENO	25
3.7. FACTORES QUE CONTROLAN LA SENSIBILIDAD AL HIDRÓGENO	25
3.8. CORROSIÓN GALVÁNICA	26
CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	27
4.2. RECUENTO DE BACTERIAS POR EL MÉTODO DE DILUCIÓN POR EXTINCIÓN – MÉTODO API RP38.....	28
4.2.1. Procedimiento.....	28
4.2.2. Cálculos de densidad bacteriana.....	28
CAPITULO V: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO	30
CONCLUSIONES	32
RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Reacciones electroquímicas en el mecanismo de la MIC	4
Tabla 2.2.	Diferencia entre subgrupos del 1 al 4 de la reducción desasimilatoria del sulfato o Azufre.....	6
Tabla 2.3.	Energía libre disponible por la oxidación de diversos compuestos orgánicos, utilizando sulfato como aceptor final de electrones	9

ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Corrosión Relativa Vs pH y velocidad.....	21
Gráfico 3.2. Tasa de corrosión relativa	22
Gráfico 3.3. Tasa de corrosión Relativa	22
Gráfico 3.4. Tasa de Corrosión vs. Velocidad y Temperatura	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Mapa de Ubicación del Lote X.....	2
Figura 2.1	Esquema de las reacciones donde se lleva a cabo la Despolarización Catódica.....	5
Figura 2.2.	Subgrupos y géneros de Eubacterias Gram-negativas con pared celular del grupo 7..6	
Figura 2.3.	Ciclo biogeoquímico del azufre.....	7
Figura 2.4.	Mecanismo de sulfato reducción	8
Figura 2.5.	Biopelícula de <i>P. Aeuroginosa</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> y <i>Flavobacterium spp.</i> , desarrolladas en tubería de agua potable	13
Figura 3.1.	Ambiente electroquímico.....	16
Figura 3.2.	Acción local en una celda	16
Figura 3.3.	Sulfuro de Hidrógeno – Picadura y Ataque General	18
Figura 3.4.	Dióxido de Carbono – Ataque por Picadura.....	19
Figura 3.5.	Salinidad con Alto Contenido de Cloruro - pH 6.0 - 7.0	19
Figura 3.6.	Ácidos - 15% HCl y Ácidos Gastados.....	19
Figura 3.7.	Bacterias Sulfato – Reductoras	20
Figura 3.8.	Corrosión / Erosión – Efecto de Alta Velocidad	20
Figura 3.9.	Tasa Creciente de Penetración con Desarrollo de la Picadura.....	24
Figura 3.10.	Tasa Creciente de Penetración con Desarrollo de la Picadura.....	24
Figura 3.11.	Tasa Creciente de Penetración con Desarrollo de la Picadura.....	24
Figura 3.12.	Tasa Creciente de Penetración con Desarrollo de la Picadura.....	25
Figura 4.1.	Diagrama de flujo planta de tratamiento de crudo Carrizo.....	27
Figura 4.2.	Técnica de recuento de bacterias por el método de dilución por extinsión	28

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

BACH. DIEGO DELFÍN FERIA JIMÉNEZ

**“EVALUACIÓN DEL RECuento DE BACTERIAS POR EL MÉTODO DE
DILUCIÓN POR EXTINCIÓN -METODO API RP38 PARA EL USO DE
BIOCIDAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO CARRIZO LOTE X”**

RESUMEN

En este trabajo de investigación se presenta el comportamiento para controlar las bacterias sulfato reductoras en la planta de tratamiento de Carrizo

Debido a la presencia de corrosión presentes se evidencio en esta Planta. Se procedió a actuar con ligereza y así fue como inicio el estudio, primero con una evaluación continua en los puntos críticos de la planta, para posteriormente con el método de dilución por extinción encontrar la causa y aplicar Biocidas en la planta.

Los trabajos iniciales se realizaron en base a dos inhibidores de corrosión para así observar la eficiencia y en calidad, verificarlo con un método de validación de datos para tener certeza de que la curva de residual de amina fílmica es el adecuado.

Así se logra obtener una mejor perfomance para hacer un análisis técnico –económico, en base al volumen de agua tratada del pozo, el producto químico, y accesorios utilizados, una investigación del comportamiento de las incrustaciones minerales en el aparejo de producción, con base en el análisis de los diferentes factores que involucran su formación

Para la optimización del inhibidor de corrosión se realizó la toma muestra de agua sin inyección de producto químico (inhibidor de corrosión) para así realizar la curva , a diferentes concentraciones, y poder asegurar el residual estipulado por la empresa operadora al realizar las pruebas de campo.

PALABRAS CLAVE: Bacterias, Método de Dilución, Biocidas, Inhibidor de Corrosión, Amina fílmica, Incrustaciones Minerales.

**NATIONAL UNIVERSITY OF PIURA
FACULTY OF MINING ENGINEERING
PROFESSIONAL SCHOOL OF OIL ENGINEERING**

BACH. DIEGO DELFÍN FERIA JIMÉNEZ

**"OPTIMIZATION OF THE CORROSION INHIBITOR USING THE CURVE OF
FILMIC AMINAS OF THE WELL COR -142 IN THE FIELD OF THE LOT 8
TROMPETEROS"**

ABSTRACT

In this research work the behavior of corrosion is presented, based on the analysis of the different factors that involve its formation.

Due to the presence of corrosion present is evident in this field. We proceeded to act lightly and that was how the study began, first with an evaluation of scale inhibitors, and then with the residual amine method to find values with 80% of the recommended dose.

The initial works were made based on two corrosion inhibitors to observe the efficiency and quality, verify it with a data validation method to be certain that the residual film amine curve is adequate.

In this way, a better performance can be obtained to make a technical -economic analysis, based on the volume of water treated from the well, the chemical product, and accessories used, an investigation of the behavior of the mineral inlays in the production rig, based on the analysis of the different factors that involve their training

For the optimization of the corrosion inhibitor, the water sample was taken without injection of chemical product (corrosion inhibitor) in order to perform the curve, at different concentrations, and to ensure the residual stipulated by the operating company when carrying out the field tests.

KEY WORDS: Bacteria, Dilution Method, Biocides, Corrosion Inhibitor, Film Amine, Mineral Inlays.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- ✓ **Aguas Efluentes:** Son las provenientes del drenaje de equipos de proceso de las operaciones de una planta
- ✓ **Ataque bajo depósito:** Corrosión que ocurre debajo de un depósito sobre una superficie metálica donde se crean condiciones de aireación diferencial.
- ✓ **Barril:** Unidad que se usa en la industria petrolera para medir los hidrocarburos en estado líquido.
- ✓ **Balancín:** Es una unidad de superficie para el levantamiento artificial de un fluido, comumente petróleo y fluidos asociados ,accionado por un conjunto moto-bomba.
- ✓ **Bomba de subsuelo:** Es una bomba de pistón que se baja en una completación de pozos a cierta profundidad en el mismo.
- ✓ **Corrosión:** Deterioro de un material, comúnmente un metal, por reacción con el medio.
- ✓ **Corrosión general:** forma de deterioro que se que distribuye mas o menos uniformemente sobre una superficie.
- ✓ **Cabillas de Bombeo mecánico:** Son aquellas que transmiten el movimiento del balancín a la bomba de subsuelo.
- ✓ **Cabilla:** Varilla que conecta a la bomba de subsuelo con la barra pulida, la cual a su vez se conecta con el cabezal del balancín, también se conoce como varilla de succión.
- ✓ **Cupón de Corrosión:** Es un dispositivo elaborado de acero al carbono utilizado como testigo para diagnosticar el estado interno de una tubería para así determinar el nivel y control de corrosión en la misma.
- ✓ **Erosión:** Destrucción de materiales por la acción abrasiva de fluidos en movimiento comúnmente acelerada por la presencia de partículas sólidas.
- ✓ **GPM:** Galones por minutos
- ✓ **Gravedad °API:** Es una escala arbitraria que expresa la densidad relativa de los productos de petróleo que se calcula por medio de la siguiente formula:
$$^{\circ} \text{API} = (141.5 / \text{gravedad}) - 131.5$$
- ✓ **Inhibidor de corrosión:** Es una sustancia o una combinación química de las sustancia que cuando cuya función principal es prevenir o reducir la corrosión.
- ✓ **Picadura:** Corrosión localizada de una superficie metálica confinada a una pequeña área que toma la forma de cavidades.
- ✓ **PPM:** Medida de concentración (miligramos por litro), significa partes por millón.
- ✓ **Tratamiento Químico:** Es un sistema que se implanta para el control de corrosión e incrustaciones, basado en la inyección de productos anti-corrosivo y/o anti incrustantes. Este término también se aplica para el proceso de deshidratación y tratamiento de crudo y gas.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Ppm	Partes por millón
API	American Petroleum Institute
ASTM	Asociación estándar de Ensayos y Medidas
ANSI	American National Standards Institute
BWPD	Barriles de agua por día
BOPD	Barriles de crudo por día
TIR	Tasa interna de retorno
ROI	Retorno de inversión
GI	Ganancia incremental

INTRODUCCIÓN

La corrosión es un fenómeno que afecta a las superficies metálicas, en donde existe pérdida de hierro, y está dada principalmente por reacciones de óxido reducción. La magnitud de la corrosión se debe principalmente a la naturaleza del metal y a las características del ambiente, por ejemplo la presencia de enlaces químicos que sean susceptibles de reducirse, tales como el O_2 o el H^+ . La corrosión debida a la presencia de los microorganismos, es una de la principales causas del deterioro del metal, y se conoce como corrosión inducida microbiológicamente (MIC por sus siglas en inglés Microbiological Induced Corrosion) o biocorrosión. La MIC es el deterioro acelerado de metales, debido generalmente a la presencia de metabolitos como el ión bisulfuro (HS^-) y el protón hidrógeno (H^+), generado por bacterias sulfato reductoras (BSR) y acidogénicas (AC) respectivamente (Axelsen y Rogne, 1998). Estas bacterias generan microambientes mediante la formación de biopelículas, las cuales son estructuras heterogéneas de polisacáridos y proteínas sintetizadas por las bacterias; estas biopelículas se encuentran adheridas a la superficie metálica y juegan un papel importante en la generación apropiada del ambiente anaerobio en el cual se desarrollan las BSR.

CAPITULO I

ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. RESEÑA HISTÓRICA

Es un campo maduro con más de cien años de explotación ubicado en la cuenca Talara, se encuentra en la provincia de Talara, departamento de Piura con un área de 469,52 km².

La producción promedio de petróleo es de aproximadamente 10,800 barriles por día y 14,1 MMcfd de gas natural, la calidad del crudo extraído de la zona es alta, con 33 °API en promedio.

A la fecha, se han perforado alrededor de 5,400 pozos, teniendo planificado el incremento de este número, además de continuar efectuando trabajos de reacondicionamiento y rehabilitación de pozos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Evaluar recuento de bacterias por el método de dilución por extinción, para determinar los diferentes grupos bacterianos en la planta de tratamiento de Carrizo Lote X.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Monitorear de los procesos biológicos ("biomonitoreo") en el relevamiento tradicional de un sistema industrial
- b) Evaluar los bactericidas disponibles comercialmente y seleccionar los más apropiados tomando como parámetro su efectividad en el control de las poblaciones bacterianas.
- c) Realizar una simulación de los choques de bactericidas se procedió a la simulación de los sistemas con los bactericidas

1.3. SITUACIÓN ACTUAL

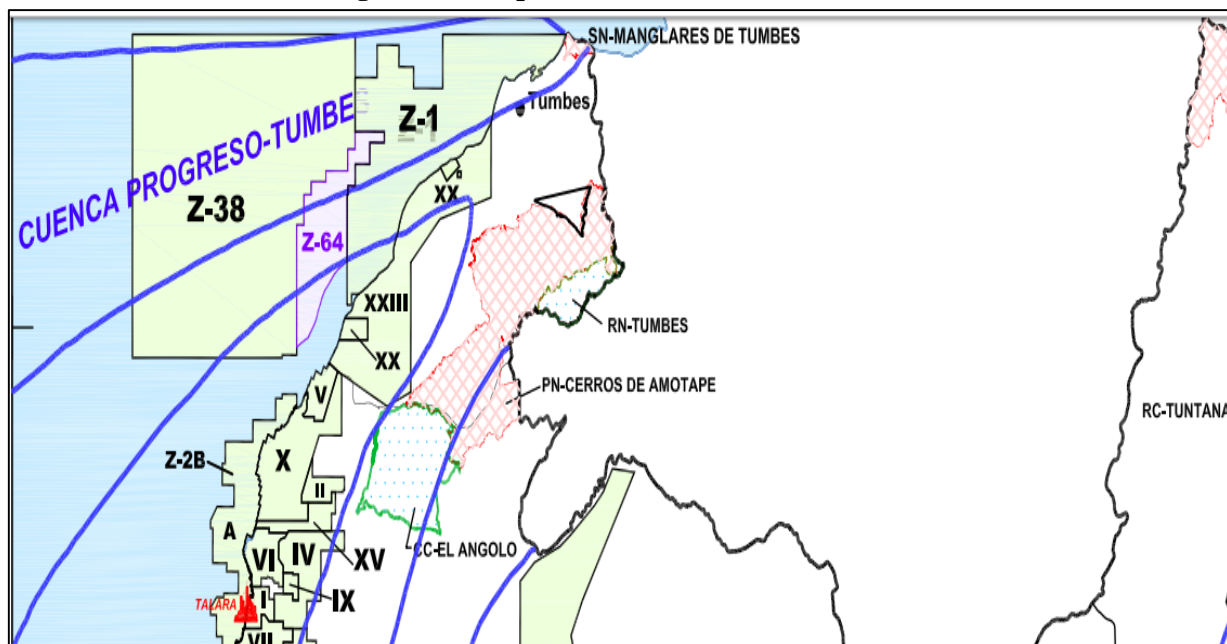
En 1996, la denominada Pluspetrol Perú Corporation, Sucursal Peruana había ganado la licitación para la exploración y explotación del Lote 8 **hasta el año 2024**, que había sido operado durante más de tres décadas por Petroperú.

En 2002 nace **Pluspetrol Norte** y en 2003 se concreta una alianza estratégica con China National Petroleum Corporation (CNPC) con el objetivo de sinergizar experiencia, aunar esfuerzos y brindar al Perú la mejor opción en cuanto a operación de yacimientos maduros en zonas remotas así como importantes aportes para el desarrollo del país.

1.4. GENERALIDADES DEL CAMPO DEL LOTE X

El Lote X, operado por CNPC, ocupa una extensión de 46,952.342 hectáreas y está ubicado en la costa noroeste de la Provincia de Talara, Departamento de Piura, Región Grau. Limita al Este con el Lote II (Compañía Petrolera Monterrico) y el Lote XXV (Compañía VETRA PERÚ SAC), al Norte con el Lote V (Compañía Graña y Montero Petrolera S.A.), al Sur con el Lote XV (Compañía Petrolera Monterrico) y al Oeste con el Lote Z2-B (Compañía Savia S.A.). Ver Anexo H - Localidad o Unidad Operativa.

Figura 1.1. Mapa de Ubicación del Lote X



Fuente : www.Perupetro.com.pe

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ASPECTOS GENERALES

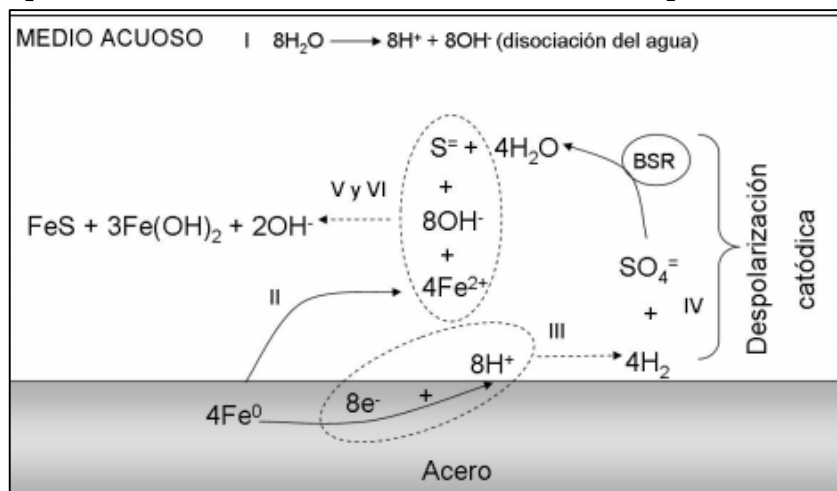
Como se mencionó en la introducción, la MIC es un proceso común en el proceso de corrosión y se describió desde 1934 por Kühn y Vlugt ¹; desde entonces, se sabe que la participación de las BSR es fundamental en los procesos de biocorrosión. Estos dos autores propusieron la teoría de despolarización catódica (Descat) y fueron retomadas en 1995 por Little y col. ²La teoría de Descat, es el principal mecanismo para el fenómeno de corrosión por BSR. Esta teoría se resume en seis reacciones básicas (Tabla 2.1)

Tabla 2.1 Reacciones electroquímicas en el mecanismo de la MIC

TEORÍA DE LA DESPOLARIZACIÓN CATÓDICA
I $8\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 8\text{OH}^- + 8\text{H}^+$
II $4\text{Fe} \longrightarrow 4\text{Fe}^{2+} + 8\text{e}^-$ (Ánodo)
III $8\text{H}^+ + 8\text{e}^- \longrightarrow 4\text{H}_2$ ads (Cátodo)
IV $\text{SO}_4 = + 4\text{H}_2$ ads $\xrightarrow{\text{BSR}}$ $\text{S} = + 4\text{H}_2\text{O}$ (Despolarización catódica)
V $\text{Fe}^{2+} + \text{S} = \longrightarrow \text{FeS}$ (Ánodo)
VI <u>$3\text{Fe}^{2+} + 6\text{OH}^- \longrightarrow 3\text{Fe}(\text{OH})_2$ (Ánodo)</u>
$4\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4 = + 4\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{FeS} + 3\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^-$

En la tabla 2.1, se describe el mecanismo de la MIC en 6 reacciones y en la Fig 2.1 se ejemplifica; en el primer paso los protones son producidos por la disociación del agua o bien por bacterias acidogénicas mediante la oxidación de compuestos de mayor peso molecular a ácidos grasos volátiles (AGV), alcoholes, entre otros que provocan una disminución del valor de pH, aumentando la concentración de H^+ (Fig 2.1 reacción I), que es el principal inductor de la oxidación del hierro. ³ Los electrones perdidos del hierro (Fig. 2.1 reacción II) son ganados por el H^+ para formar H^0 o H_2 , producidos en la reacción catódica, en presencia de BSR, es utilizado como fuente de energía promoviendo la Descat (Fig. 2.1 reacción IV); lo que da como consecuencia mayor disolución del metal proveniente del ánodo; esta reacción es posible, debido a que muchas especies de Desulfovibrio, producen la enzima hidrogenasa. Los productos de la reacción VI son sulfuros y agua, el sulfuro reacciona con hierro para formar FeS, este compuesto puede adherirse a la superficie del metal, o bien se puede perder en la solución lo que provoca un desequilibrio en el par de especies en la reacción $\text{Fe}^0 / \text{Fe}^{2+}$, dando continuidad a esta reacción anódica y por lo tanto al proceso de corrosión.

Figura 2.1. Esquema de las reacciones donde se lleva a cabo la despolarización catódica



La explicación de la Fig.2.1, se desarrolla en condiciones anaerobias, donde el principal agente oxidante es el H^+ dando lugar a la reacción anódica, o bien, a la oxidación del hierro Fe^0 a Fe^{2+} . En resumen, esta reacción anódica se ve favorecida por acción microbiana por dos aspectos: 1) Producción de metabolitos corrosivos como ácidos orgánicos; 2) Producción de metabolitos que actúan con otras especies químicas presentes en el medio, provocando un aumento en la corrosión como es el caso de los sulfuros, que forman productos como FeS que provocan un desequilibrio en la reacción Fe/Fe^{2+} dando continuidad a la reacción de oxidación del hierro.⁴

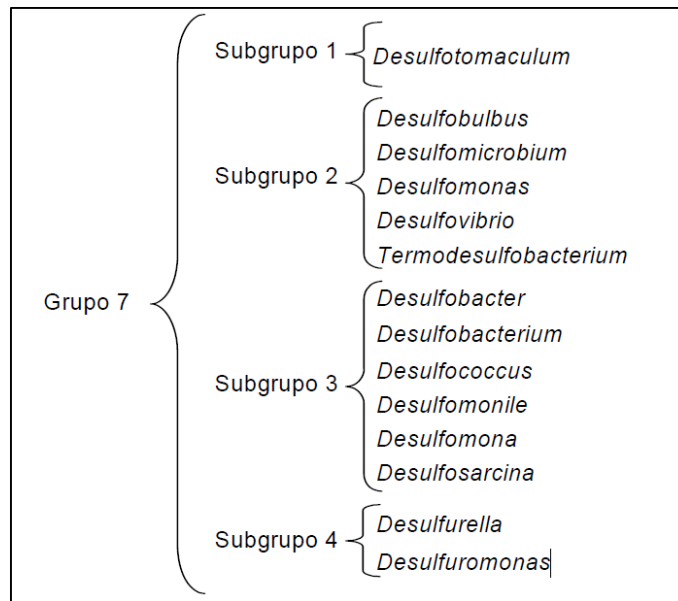
Antes de pasar a la teoría del mecanismo de corrosión y principios de técnicas electroquímicas, se presentan algunas generalidades de las BSR, que como ya se propuso anteriormente, son las bacterias más comunes en el proceso de biocorrosión.

2.2. BACTERIAS SULFATO REDUCTORAS

Las BSR, como su nombre lo dice, son bacterias que pueden utilizar el ión SO_4^{2-} como aceptor final de electrones en cadena respiratoria, teniendo como producto final el ión S^{2-} , el cuál en presencia de Fe^{2+} es precipitado como FeS. Las BSR son procariotas con una pared celular compleja, la cual consiste en una pared celular externa y una interna, con una capa delgada de peptidoglicano y algunos otros componentes en esta estructura celular; estas bacterias son usualmente Gramnegativas⁵ excepto las especies como *Desulfotomaculum* como lo menciona Hao y col. (1996). Las células pueden tener formas esféricas, ovaladas, de bastones, helicoidales o filamentosas, y algunas pueden estar encapsuladas. Su reproducción es por fisión binaria, pero algunos grupos se reproducen por gemación; además de tener en algunos casos movilidad. Los miembros de esta división pueden ser litoautótrofos u organoheterótrofos; litoautótrofos ya que pueden utilizar el H_2 como fuente de energía y el CO_2 como fuente de carbono, heterótrofos porque pueden utilizar un compuesto orgánico como fuente de energía y carbono, por ejemplo el lactato. Este grupo de bacterias se consideran anaerobias estrictas; no obstante, puede crecer en condiciones anaerobias facultativas de microaerofilia⁵, incluso hasta en condiciones aerobias, como demuestra⁶, quienes obtuvieron el cultivo de *Desulfovibrio desulfuricans* cepa CSN, la cual podía utilizar O_2 como aceptor final de electrones; evidenciando que las BSR pueden utilizar el oxígeno como aceptor final de electrones.

Se mencionan la clasificación de gran parte de los microorganismos. Con lo que respecta a las BSR, pertenecen al grupo 7 de las eubacterias Gram- negativas. Dentro de este grupo hay subgrupos con diferentes géneros de bacterias como se observa en la Fig. 2.2.

Figura 2.2. Subgrupos y géneros de Eubacterias Gram-negativas con pared celular del grupo 7



En la tabla 2.2 se detallan generalidades de 4 subgrupos propuestos para las BSR.

Tabla 2.2. Diferencia entre subgrupos del 1 al 4 de la reducción desasimilatoria del sulfato o Azufre

Características	1.BSR que forman esporas	2. BSR que no forman esporas y oxidan incompletamente los substratos orgánicos	3.BSR que no forman esporas y oxidan completamente los substratos orgánicos	4.Bacterias reductoras del azufre
Reducción de SO_4^{2-} a H_2S	+	+	+	-
Reducción de S^0 a H_2S	-	+/-	-	+
Substratos orgánicos *	+	+	+	+
Mineralización de compuestos orgánicos	+/-	-	+	+

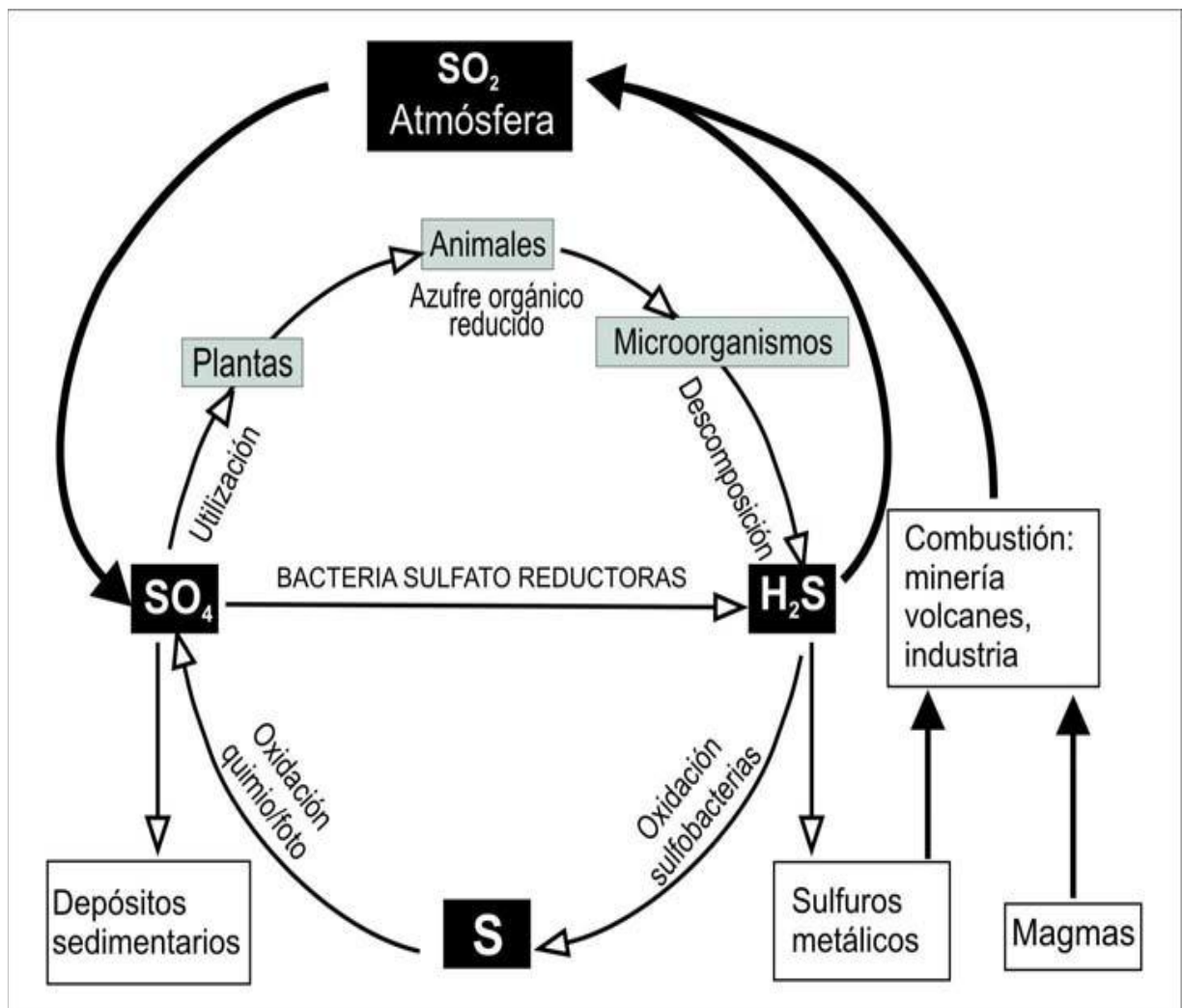
* Acetato, propionato, butirato y lactato

Fuente: Holt y col. 1994

2.2.1. Ciclo de azufre

Todas las plantas y animales requieren azufre para la síntesis de proteínas. La transformación biológica del azufre en ambientes naturales, es un proceso cíclico, que comprende componentes aerobios y anaerobios (Figura 2.3). En su más alto estado de oxidación, el azufre existe como sulfato (SO_4^{2-}) el cual es reducido a sulfuro (S^{2-}) por la mayoría de las BSR, tales como el género *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfobacter* y otras que se mencionan en la Fig. 2.2 (sulfato reducción desasimilatoria). El sulfuro puede ser parcialmente oxidado por bacterias del género *sulfooxidantes* a S_0 y totalmente a sulfato, esto dependerá de la concentración de oxígeno, también el azufre (como SO_4^{2-}) es requerido en microorganismos para su incorporación dentro de los aminoácidos (sulfato reducción asimilatoria).

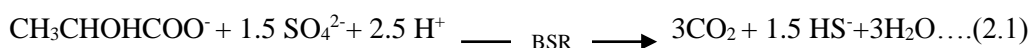
Figura 2.3. Ciclo biogeoquímico del azufre



2.2.2. Fisiología de las Bacterias Sulfato Reductoras

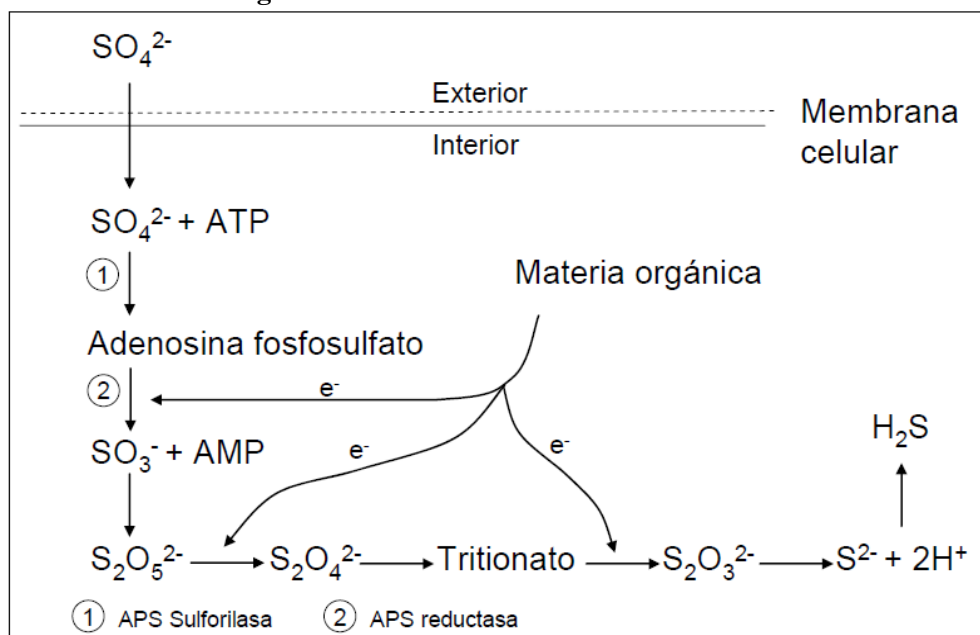
2.2.2.1. Mecanismo de respiración de las Bacterias Sulfato Reductoras

Bajo condiciones anaerobias, el sulfato es utilizado como aceptor de electrones y es reducido completamente hasta sulfuro, este compuesto se pierde en la atmósfera en forma de H₂S (agente corrosivo) o también puede depositarse como piritita sedimentaria (FeS₂) en presencia de iones Fe²⁺ y Fe³⁺ (Videla y Characklis, 1992). En la ecuación 2.1 se muestra la mineralización del lactato (CH₃CHOHCOO⁻) por bacterias sulfato reductoras organoheterótrofas, produciendo el ión HS⁻; en la ecuación 2.2, se muestra la utilización de H₂ como fuente de energía para las BSR litoautótrofas, que es un producto de la reducción del H⁺ en el proceso de corrosión del acero al carbono, el ión HS⁻ producto de la respiración de las BSR es el ión principal del secuestro del ión Fe²⁺ (producido en la reacción anódica del proceso de corrosión del acero al carbono).



El paso inicial en la reducción bioquímica del sulfato, es el transporte del sulfato exógeno a través de la membrana bacteriana al interior de la célula. Una vez que el sulfato está en el interior, procede la sulfato reducción por la acción de la enzima ATP sulforilasa, la cual combina el sulfato con el ATP para producir una molécula altamente activada conocida como adenosin fosfosulfato (APS) y pirofosfato. La molécula de APS es rápidamente convertida a sulfito (SO₃⁻) por la enzima citoplasmática APS reductasa. Posteriormente se ha encontrado la acción de una enzima sulfito reductasa, las más comunes son las presentes en el género de *Desulfovibrio*, conocidas como desulfoviridina y desulforubidina. El sulfito puede ser reducido mediante varios intermediarios para formar el ión sulfuro, los cuales son⁷: metabisulfito (S₂O₅²⁻), ditionita (S₂O₄²⁻), tritionato y por último el tiosulfato (S₂O₃²⁻); el tiosulfato formado puede ser reducido hasta H₂S como se muestra en la Figura 2.4

Figura 2.4. Mecanismo de sulfato reducción



2.2.2.2. Sustratos utilizados por las Bacterias Sulfato Reductoras

Se ha encontrado que las BSR son capaces de utilizar como fuente de carbono y energía una variedad de compuestos orgánicos; por ejemplo, los ácidos grasos de bajo peso molecular, alcoholes y lactato. En la siguiente tabla (Tabla 2.3) se observa la energía disponible, debido a la mineralización compuestos orgánicos, utilizando sulfato como aceptor final de electrones.

Tabla 2.3. Energía libre disponible por la oxidación de diversos compuestos orgánicos, utilizando sulfato como aceptor final de electrones

Ecuación	Reacción	Energía libre (KJ/mol)
1	$3\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^- \longrightarrow 2\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_2^- + \text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$	-165.0
2	$2\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^- + \text{SO}_4^{2-} \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^- + 2\text{HCO}_3^- + \text{HS}^- + \text{H}^+$	-189.0
3	$\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_2^- + 0.75\text{SO}_4^{2-} \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^- + \text{HCO}_3^- + 0.75\text{HS}^- + 0.25\text{H}^+$	-151.0
4	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^- + \text{SO}_4^{2-} \longrightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{HS}^-$	-60.0
5	$4\text{H}_2 + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ \longrightarrow 4\text{H}_2\text{O} + \text{HS}^-$	-152.00

Nota: $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-$ (lactato); $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ (acetato); $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_2^-$ (propionato).

Termodinámicamente, la energía liberada de la reacción del lactato, propionato, acetato y el H_2 , utilizando el SO_4^{2-} como aceptor final de electrones, es espontánea; lo que indica que estos compuestos son susceptibles de ser utilizados por las BSR como fuentes de carbono y/o energía, como menciona⁵. No obstante, cinéticamente, los compuestos más rápidamente degradables son los orgánicos como el lactato, acetato y propionato, en comparación de cuando se tiene un medio litoautótrofo con H_2 como fuente de energía y CO_2 como fuente de carbono.

2.3. GENERALIDADES DE LAS BIOPELÍCULAS

Se ha descrito de manera general la importancia de las BSR en los procesos de corrosión, no obstante existen factores que contribuyen a la corrosión microbiana, tal como la adhesión de los microorganismos a las superficies. Durante el complejo proceso de adhesión, las células bacterianas alteran su fenotipo debido a la cercanía de una superficie y sintetizan una matriz heterogénea de polisacáridos, ésta dependerá de los microorganismos presentes y del ambiente.⁸

Existen diversas definiciones de biopelícula; se definen como: un conjunto de células microbianas que se asocian reversible o irreversiblemente sobre la superficie, formando matrices heterogéneas constituidas por: microorganismos, partículas orgánicas y sustancias poliméricas extracelulares (EPS, por sus siglas en inglés), la cual sirve para mantener unidas las células bacterianas entre ellas mismas y con la superficie; otra definición es: una biopelícula es un montaje de células de microorganismos asociados superficialmente y que está rodeada o encerrada en una matriz altamente hidratada formada principalmente por EPS, con la finalidad de cooperar metabólicamente para facilitar su nutrición y responder a ataques microbianos. De estas dos definiciones se puede deducir, que la biopelícula tiene diversas funciones, tales como protección y evitar el estrés ambiental.

Las biopelícula tendrán una conformación en el espacio que puede ser regular o irregular, la cual dependerá de factores físicos como el flujo, naturaleza de la superficie, o bien de factores biológicos como la heterogeneidad entre las especies de microorganismos que coexisten en ella.

Las biopelícula se encuentran tanto en la tecnología, como en la naturaleza. En la naturaleza pueden ser encontradas en casi todas las superficies expuestas al agua, se acumulan en partículas suspendidas y en superficies de piedra de los ríos y lagos, también se pueden encontrar en ambientes marinos en donde forman parte importante en el eslabón de la pirámide trófica.

Las biopelícula pueden ser benéficas, dada su estabilidad pueden ser utilizadas tecnológicamente, como sucede en la remoción de contaminantes contenidos en aguas residuales. De igual manera, pueden generar infecciones a humanos y animales debido a la formación de biopelícula en instrumentación clínica; o bien en superficies como en los dientes, las biopelícula también tienen un papel de protección del ambiente exterior, como a los fármacos por ejemplo. En procesos industriales la incrustación y corrosión en tuberías es uno de los principales problemas ocasionados por la formación de biopelícula.

2.3.1. Mecanismo de formación de las Biopelícula

Para que las bacterias logren sobrevivir y reproducirse con éxito, en muchos sistemas, requieren de la colonización de una superficie y/o de la integración a una comunidad que haya formado una biopelícula.⁹

Es muy común que las bacterias se fijen a casi cualquier superficie sumergida en un ambiente acuático o bien lleno de algún líquido, por lo que en medios naturales, es difícil encontrar biopelícula suspendidas en el medio acuoso. Cuando estos microorganismos se encuentran inmovilizados y formando parte de una biopelícula, se les llama sésiles, y a aquellos microorganismos que se encuentran flotando en el medio acuoso se les llama plantónicos ¹⁰

La interface sólido-líquido que se forma entre una superficie y el medio acuoso, brinda un ambiente ideal para la unión y crecimiento de los microorganismos.

Las etapas generalmente aceptadas en el desarrollo de las biopelícula son cinco:

1. Transporte del microorganismo a la superficie de adhesión.
2. Unión inicial
3. Adhesión
4. Proliferación
5. Formación de la biopelícula

2.3.1. Transporte

Dentro de un sistema acuoso, un microorganismo está sujeto a diversas fuerzas como son la fuerza de gravedad y la fuerza de arrastre del fluido, la cual será proporcional a la velocidad con que éste se mueva. En sistemas estáticos donde la velocidad del fluido es prácticamente nula, el transporte de la célula vía flagelos, juega un papel importante para lograr el transporte del microorganismo hasta el sustrato o superficie; mientras que las bacterias que no cuentan con flagelos o que carecen de movimiento propio, es la gravedad la que facilita su transporte y unión con la superficie ¹⁰. En otros sistemas donde el flujo es altamente turbulento, por ejemplo en sistemas de filtración, es la fuerza convectiva de dragado, la que influye en el transporte de los microorganismos a través de la superficie de interés ¹¹

2.3.2. Unión inicial

Una vez que el microorganismo ha sido transportado hasta la superficie de un sustrato, se lleva a cabo la unión inicial, la cual según Beveridge, (1997) puede ser descrita como un evento de dos fases: a) la fase de unión reversible que correspondería a la etapa 2 y b) la fase de unión irreversible que corresponde a la etapa 3 .¹²

La unión reversible se da cuando las células se unen a la superficie mediante una porción de la célula o un flagelo, mientras que estas continúan girando, lo que puede provocar que las células se despeguen y sean transportadas hacia otro sitio en la superficie o hacia otro sustrato ⁹ sugieren que muchas bacterias se asocian con superficies en posiciones transitorias particularmente en ambientes oligotróficos marinos.

La unión puede tornarse irreversible sólo después de un periodo de estabilidad, durante el cual las células giraron en torno al eje de unión y frecuentemente ya han emigrado previamente del primer sitio de unión.

No todas las células que tocan una superficie, se fijan a ella irreversiblemente. Una explicación para este comportamiento de rotación de las bacterias en la naturaleza, es que evalúan químicamente el sitio potencial de unión, rotando y moviéndose de un sitio a otro hasta que los quimiorreceptores de las bacterias detectan las condiciones ambientales ideales, por ejemplo, la superficie del sustrato, que particularmente en ambientes naturales y médicos, se encuentran cubiertos con diversos polímeros adsorbidos que le confieren diferentes características físicas y químicas a dicho sustrato. Este comportamiento ha sido visto en la naturaleza cuando varias especies de bacterias muestran un movimiento directo acompañado de un posicionamiento preferencial de los microorganismos en una superficie sólida.⁹

2.3.3. Adhesión

La adhesión o unión irreversible, es la etapa principal para que una bacteria lleve a cabo la colonización de superficies inertes y en tejidos vivos. Se ha estimado que la mayoría de las poblaciones bacterianas en la naturaleza, viven y se multiplican unidas a una superficie

Los diferentes mecanismos de adhesión bacteriana, según, son¹³:

- Interacciones entre cargas
- Interacciones hidrofóbicas
- Lectinas
- Unión vía fibronectina (glicoproteínas de alto peso molecular con un bajo contenido de carbohidratos y que se unen a la membrana celular)
- Unión vía colágeno
- Fimbria Bacterial, entre otros.

La velocidad o razón de adhesión bacteriana a una amplia variedad de superficies es respuesta de características físicas tales como la hidrofobicidad. Varios investigadores han encontrado que los microorganismos se unen mejor y más rápido a superficies no polares hidrofóbicas como plástico y teflón que en materiales hidrofílicos como el vidrio y metales.

La colonización se incrementa conforme aumenta la rugosidad de la superficie ya que hay una mayor área superficial y las fuerzas de separación se disminuyen.

2.3.4. Proliferación

Una célula bacteriana inicia su proceso de adhesión irreversible mediante su vinculación con la superficie a través de sacáridos excretados por las bacterias (exopolisacáridos), luego, su división celular produce células hermanas que se unen en la matriz del exopolisacárido, iniciando así el desarrollo de micro colonias adherentes que dan pie a la proliferación celular.

2.3.5. Formación de la biopelícula

Las biopelícula pueden formarse sobre cualquier tipo de superficie, como tejidos vivos, en tuberías de sistemas hidráulicos, en la industria o en sistemas acuáticos naturales. El desarrollo de las microcolonias, así como su actividad metabólica genera diferentes compuestos que son segregados al exterior, tales como los exopolisacáridos, formándose una biopelícula continua en la superficie colonizada, la cual es función de la división en microcolonias y del reclutamiento de células plantónicas.

Los bloques formadores de biopelícula parecen ser polisacáridos y proteínas excretadas por las bacterias. Algunas de las fuerzas fisicoquímicas de unión que pueden conectar los hilos de polímeros son: interacciones electrostáticas entre hilos de polímeros cargados contrariamente. Unidos por contra iones multivalentes como el calcio, en los casos en los que hay hilos poliméricos cargados de igual forma. Unión física tal como el enredo de dichos hilos. Enlaces covalentes. Interacciones hidrofóbicas y puente de hidrógeno.

Las sustancias poliméricas extracelulares o EPS por sus siglas en inglés, son consideradas el material primario de la matriz que conforma la biopelícula, ya que del 50% al 90% del carbono orgánico total que se encuentra en la biopelícula; proviene de EPS, el cual está formado principalmente de polisacáridos. En el caso de las bacterias Gram-negativas, algunos de los polisacáridos son neutros o polianiónicos. La presencia de ácidos urónicos como D-glucurónico, D-galacturónicos y ácido manurónico, o piruvatos, le confieren propiedades aniónicas, lo que les permite asociarse a cationes divalentes como Ca^{2+} , y Mg^{2+} , lo que une los hilos poliméricos y le da mas fuerza a la unión de la biopelícula. Para las bacterias Gram-positivas, como *estafilococcus*, la composición de los EPS es principalmente catiónica. El ácido urónico tiene potencial de participar eslabonando interacciones entre cationes multivalentes.

Adicionalmente, como resultado de las características del ambiente en el que desarrollan los microorganismos, es muy común encontrar dentro de las biopelículas que se desarrollan en ambientes naturales, diferentes materiales no celulares, tales como cristales minerales, arcillas, limos, arenas, y productos de corrosión, entre otros que se encontraban en el medio y que fueron atrapados por la estructura que conforman los compuestos de la biopelícula. Las biopelículas en sistemas acuáticos industriales son muy complejas, ya que además de los materiales no celulares mencionados, pueden contener diatomeas y bacterias filamentosas, además se observa que en estos sistemas, la biopelícula es muy firme y altamente resistente a desinfectantes como el cloro.

Las biopelículas están compuestas de organismos vivos y el incremento de la velocidad del fluido provoca respuestas fisiológicas. Por ejemplo, en un caso extremo, el incremento de la velocidad puede causar el colapso de la biopelícula por completo. Solamente las biopelículas que se encuentran fuertemente unidas a la superficie pueden resistir la fuerza de arrastre que está asociada con la velocidad del fluido. Es bien sabido que las biopelículas que crecen en medios en donde el fluido tiene una velocidad alta, son más densas que aquellas que crecen en medios con velocidades de fluidos menores. Los autores creen que ese aumento en la densidad de la biopelícula es una respuesta

fisiológica de ella ante el estrés; las biopelículas más densas son más resistentes a los cambios en la fuerza de arrastre asociados al cambio de velocidad del fluido.

La muerte estacional y la lisis celular de productores primarios, estimula la formación y crecimiento de la biopelícula, ya que ésta tiende a atrapar y reciclar componentes celulares.

Cuando la biopelícula se forma en superficies de nutrientes insolubles como la celulosa, los eventos iniciales de adhesión favorecen a bacterias específicas que pueden consumir dicho sustrato. En estos casos, los colonizadores producen enzimas asociadas al consumo del sustrato produciendo nutrientes solubles que estimulan el crecimiento de organismos heterótrofos cercanos, la electrotransferencia también puede tomar lugar en este consorcio.

2.3.6. Estructura de la biopelícula

2.3.6.1. Sustancias poliméricas extracelulares

Las biopelícula están compuestas principalmente de células bacterianas y EPS. Las EPS pueden contar del 50 al 90% del carbono orgánico total en peso seco, y puede ser considerado como el principal material que constituye la matriz de la biopelícula. Las EPS pueden variar en sus propiedades químicas y físicas, sin embargo están constituidas principalmente de polisacáridos, secretados por las bacterias, pero también partículas que están en el medio pueden ser atrapados por esta matriz y pasar a formar parte de la misma. Los polisacáridos están hidratados y se encuentran en estado semisólido. El mayor contenido en la biopelícula es agua con un contenido de hasta 97% en la matriz. Estas estructuras se forman principalmente por la actividad de una proteína sintetizada por las bacterias, llamada lectina, la cual tiene función en la polimerización de azúcares, que son los compuestos que principalmente constituyen a la matriz.

2.3.7. Conformación de la biopelícula

El nombre de biopelícula es de alguna manera inapropiado, debido a que no es una mono capa continua depositada en la superficie, más bien las biopelícula son heterogéneas, contienen micro colonias de células bacterianas dentro de una matriz de EPS y separadas por otras micro colonias como se muestra en la Fig. 2.5. Además se observan canales donde el flujo arrastra los nutrientes que es la parte oscura de la figura, el crecimiento de las bacterias le dan una conformación tridimensional que va cambiando con el tiempo. Las partículas orgánicas e inorgánicas del medio que se adhieren a la biopelícula, de igual manera cooperan para dar el aspecto característico de la biopelícula, entre otros factores.

Figura 2.5. Biopelícula de *P. Aeuroginosa*, *Klebsiella pneumoniae* y *Flavobacterium spp.*, desarrolladas en tubería de agua potable.

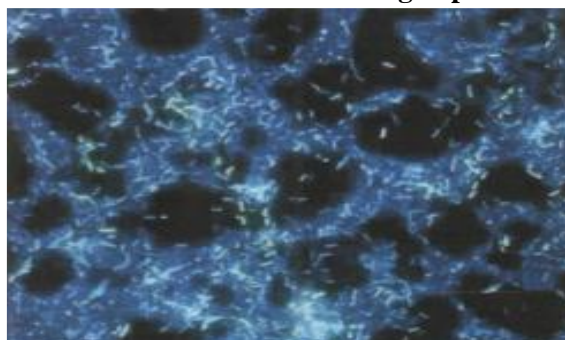


Foto tomada de Dolan, 2002

Hasta ahora se ha visto algunas generalidades de las biopelículas, las cuales en el proceso de corrosión tienen una gran importancia, debido a que crea microcondiciones sobre la superficie metálica provocando gradientes de concentración, temperatura, variabilidad del valor de pH, entre otros factores. Dando lugar a un gradiente de potencial sobre la superficie metálica, promoviendo la oxidación del hierro.

CAPITULO III

CAUSAS DE CORROSIÓN EN EQUIPOS DE CAMPOS PETROLEROS

3.1. ASPECTOS GENERALES

Se ha estimado que el 80% de las fallas que ocurren en operaciones de producción y oleoductos son causadas por corrosión. Esto se debe al tipo de pérdida de metal o de tipos tensoriales con corrosión desarrollando así los factores tensionales o asociados a hidrógeno atómico con Sensibilidad al Hidrógeno. El objetivo principal cuando las fallas ocurren consiste en establecer si la causa es la corrosión, cuáles son las razones específicas y cómo pueden ser prevenidas a futuro.

En vista de que generalmente se sospecha que causa es la corrosión, es esencial que el operador tenga un entendimiento general de la corrosión como fenómeno, su apariencia y las condiciones operativas que pueden iniciar el ataque. Ya que la mayoría de los equipos son fabricados de metales ferrosos, la corrosión de aceros, etc., es la principal preocupación. Los dos principales agentes corrosivos asociados con el petróleo y el gas son el Sulfuro de Hidrógeno y el Dióxido de Carbono. El oxígeno también es de gran preocupación cuando es producido o cuando las aguas de inyección están en contacto con aire. Mientras hay una gran variedad de condiciones operativas bajo las cuales puede ocurrir corrosión, la causa fundamental es siempre la reacción electroquímica. Una vez que estos factores que controlan la corrosión hayan sido entendidos y los tipos de fallas hayan sido reconocidos, la corrosión puede ser establecida rápidamente como la probable causa. Esta condición se confirmará usualmente con una revisión de las condiciones operativas acopladas a pruebas relativamente simples. A continuación, se revisan los conceptos básicos de corrosión en campos petroleros y demás información pertinente al análisis de fallas de campo.¹³

3.2. DEFINICIÓN DE CORROSIÓN

CORROSIÓN: Destrucción de un metal por reacción química o electroquímica con su ambiente.¹⁴ En operaciones de rutina de producción y oleoducto, se aplica sólo la reacción electroquímica. Dependiendo de la metalurgia, corrosivos y condiciones operativas, la apariencia de la corrosión y las fallas pueden ser bastante diferentes, sin embargo, la causa fundamental es el componente electroquímico de la definición.

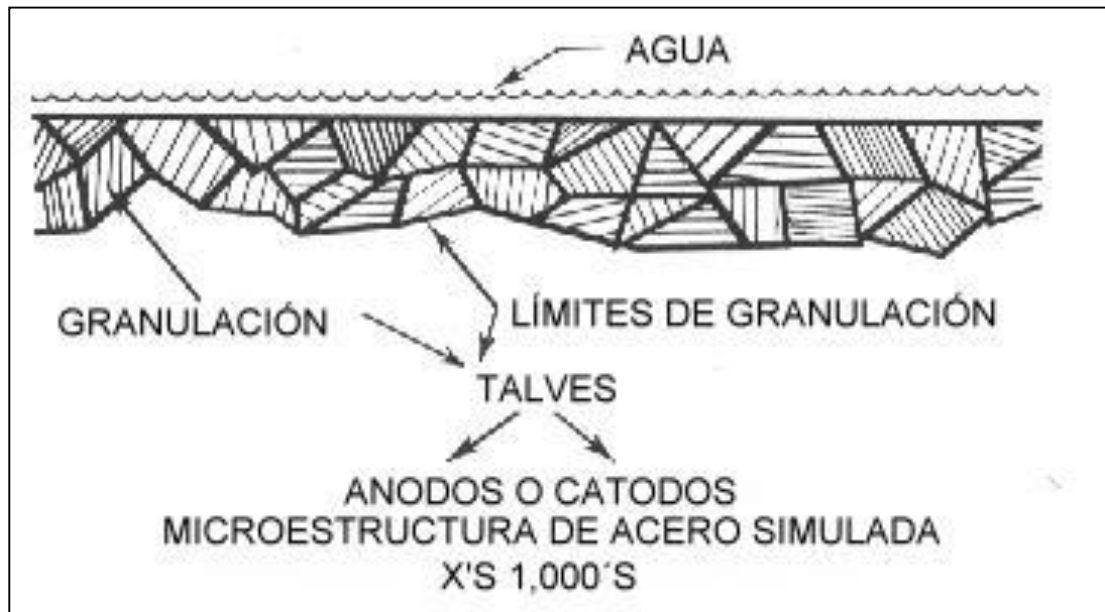
Mientras que el componente químico de la definición no cuenta en operaciones de rutina, puede ser un factor en fallas asociadas con trabajos ácidos, fluidos de empacaduras y otras operaciones donde grandes volúmenes de químicos empleados en la estimulación o completación de pozos. Una revisión de posibilidades químicas es deseable en lugares donde la corrosión ha ocurrido sin una causa aparente.

3.3. AMBIENTE ELECTROQUÍMICO

La figura a continuación es una representación idealizada de un ambiente electroquímico con una superficie limpia y perfecta de acero, sin imperfecciones internas o externas. Cada grano es minuciosamente diferente en su estructura y composición y marcadamente diferente en los bordes de los granos en sus aleaciones que precipitaron a medida que el acero se enfrió desde un estado fundido a sólido. Cuando la superficie es revestida con un electrolito, el agua siempre en operaciones

rutinarias de campo, se detalla flujo mínimo de corriente entre áreas anódica y catódica de la superficie.¹⁴

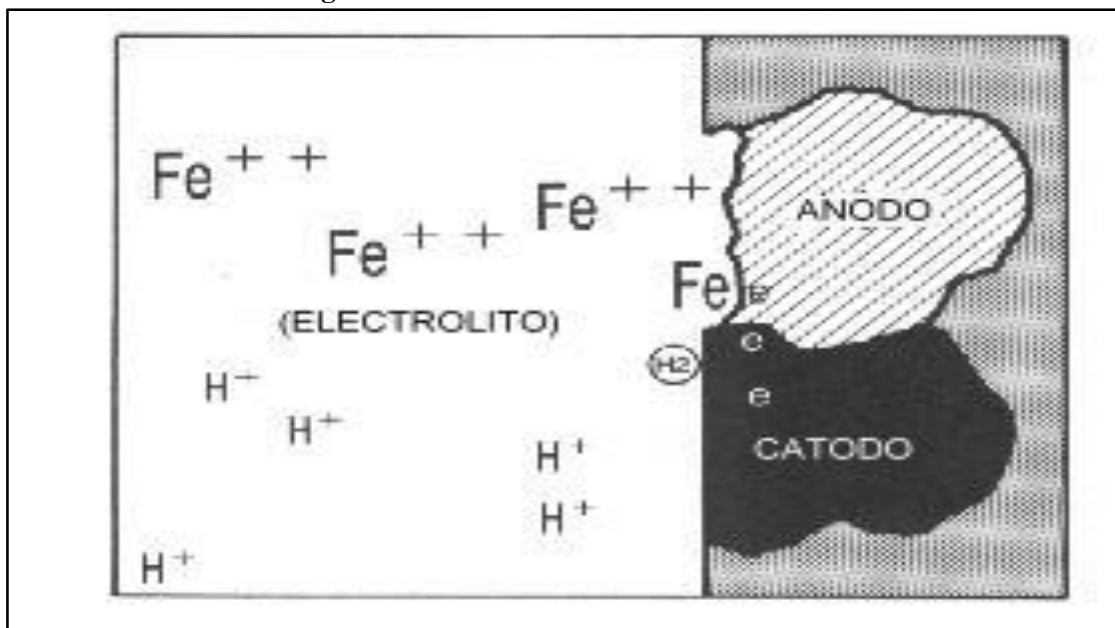
Figura 3.1. Ambiente electroquímico



Fuente: R. Winston Rivie

La siguiente figura es una representación idealizada de reacciones electroquímicas en las superficies anódica y catódica. Los iones de hierro entran en el agua desde el ánodo; los iones de hidrógeno en el agua se mueven hacia el cátodo, se combinan para formar moléculas, emergen como burbujas de gas y dejan el electrolito.¹³

Figura 3.2. Acción local en una celda



Fuente: R. Winston Rivie

El deterioro superficial metálico podría ser lento y generalmente uniforme. Con frecuencia, los productos de la corrosión tales como herrumbre, cubren la superficie haciendo lenta la velocidad de la reacción. Mientras esta corrosión general no es usualmente de mayor preocupación, desde el punto de vista de pérdida de metal, el hidrógeno atómico puede causar Sensibilidad al Hidrógeno en aceros de alta resistencia o altamente tensionados.

El tipo de ataque electroquímico de picadura es la mayor causa de corrosión por tensión y fallas por pérdida de metal. Hay un número de factores en las condiciones operacionales y en los procedimientos de fabricación de aceros típicos empleados en los campos petroleros, que forman áreas de alto potencial electroquímico, donde el ataque por picaduras se desarrolla. Lo siguiente es una lista parcial de las muchas condiciones en materiales de campo y equipos, que pueden iniciar corrosión por picadura.¹³

3.3.1. Factores Metalúrgicos

Crecimiento anormal de granulación, tratamiento térmico inadecuado, acero sucio (escoria, lingotes, costras), liberación tensional inadecuada, secuencia de fundición inadecuada.

3.3.2. Factores de Fabricación

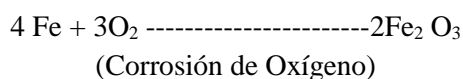
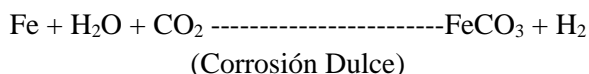
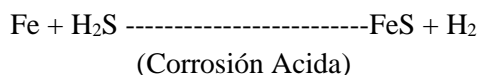
Tratamientos al calor y/o liberación tensional inadecuados, dobleces, uniones, trastornos por cortes de energía, frentes de caras y ensamblaje inadecuados, limpieza inadecuada (escala mil), soldadura no apropiada o inadecuada, excesivo frío de estiramiento, daños de superficie (hendiduras, abolladuras, etc.).

3.3.3. Factores de Operación de Campos

Daños en la superficie (marcas de herramientas, abolladuras, hendiduras, etc.), soldadura no apropiada (uniones, cortes de energía, sopleteados, escorias), doblez y estiramiento en frío, agua ácida producida, escamas depositadas en agua, escamas de productos corrosivos, trechos de agua, alta velocidad (turbulencia en flujo discontinuo), metales y aleaciones distintas.¹³

3.4. REACCIONES ELECTROQUÍMICAS TÍPICAS IDEALIZADAS

Los siguientes productos ferrosos de corrosión mostrados formarían junto con el H₂S y CO₂ en bajos sólidos agua y desde el punto de vista de la corrosión, los únicos productos de preocupación. Sin embargo, un análisis de escala en un campo típico contendrá otros elementos químicos asociados con salinidad en campos petroleros y un componente orgánico del petróleo, condensado o químicos empleados en tratamiento de pozos.



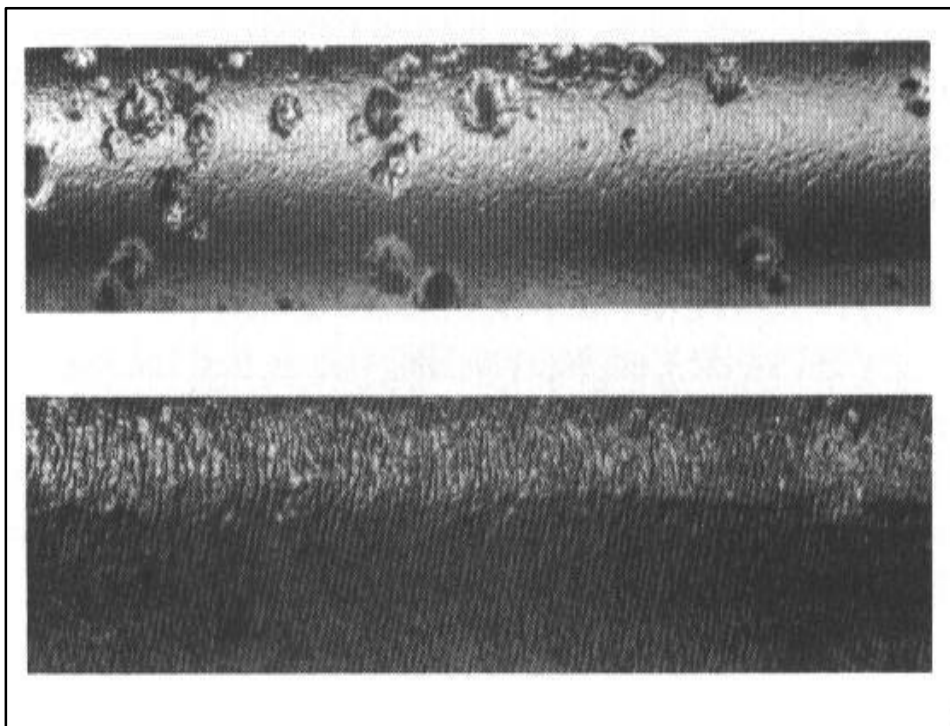
3.5. APARIENCIA DE PÉRDIDA DE METAL POR CORROSIÓN

Los siguientes casos son muestras típicas de fotos donde se observa la pérdida de metal por corrosión. Las muestras fueron limpiadas extensivamente para ilustrar el tipo de pérdida de metal. Cuando las muestras de campo van a ser inspeccionadas, primero se debe tomar una muestra del producto de la corrosión y colocarlo en un toma muestra hermético en caso de que un análisis sea requerido. Una sección de la muestra debe entonces ser cuidadosamente limpiada, si fuere necesario con un enjuague ácido, a fin de poder inspeccionar la condición de la superficie.⁸

3.5.1. Sulfuro de Hidrógeno – Picadura y Ataque General

Con ambos tipos de ataque, el producto de la corrosión será negro. En el caso de ataque por picadura, el producto estará fuertemente adherido. En apariencia puede variar de superficie suave y brillante a áspera, negro opaco, o nodular. Con el ataque de tipo general, el producto de la corrosión es usualmente delgado, relativamente suave y negro opaco.

Figura 3.3. Sulfuro de Hidrógeno – Picadura y Ataque General

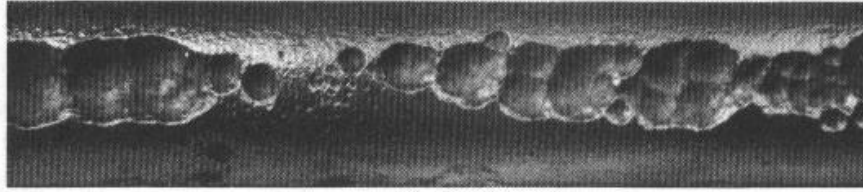


Fuente: R. Winston Rivie

3.5.2. Dióxido de Carbono – Ataque por Picadura

El producto de la corrosión puede variar de marrón oscuro a negro. Generalmente se adhiere en forma floja. Inicialmente las picaduras son pequeñas como las que se muestran en la parte central izquierda de la figura, los lados son verticales y el fondo redondeado. Originalmente el ataque se denominó corrosión en forma de gusano anillado, debido a su apariencia de anillos en la parte superior de la tubería. Frecuentemente también aparecen en líneas extendidas de picaduras como se muestra en la ilustración. Con frecuencia, el balance de la superficie de metal o está libre de corrosión o ligeramente atacada.

Figura 3.4 Dióxido de Carbono – Ataque por Picadura

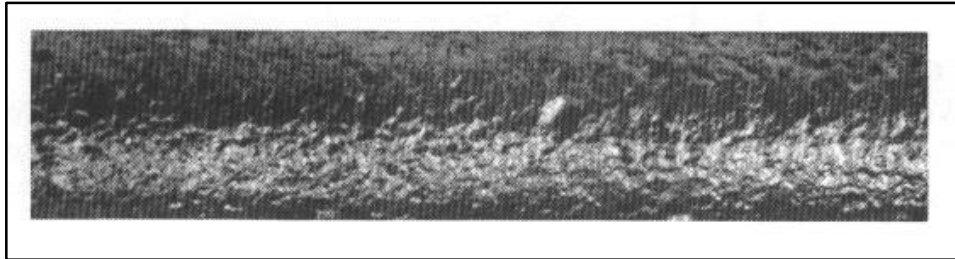


Fuente: R. Winston Rivie

3.5.3. Salinidad con Alto Contenido de Cloruro - pH 6.0 - 7.0

En agua producida, con pocas trazas de gases ácidos o ninguno, el pH llegará a 7.0. Esto con frecuencia resulta en un ataque con leves picaduras redondas en el fondo, la forma redondeada del fondo decrece de manera marcada al elevar el efecto de la tensión. Usualmente, la tasa de pérdida del metal es baja.

Figura 3.5. Salinidad con Alto Contenido de Cloruro - pH 6.0 - 7.0

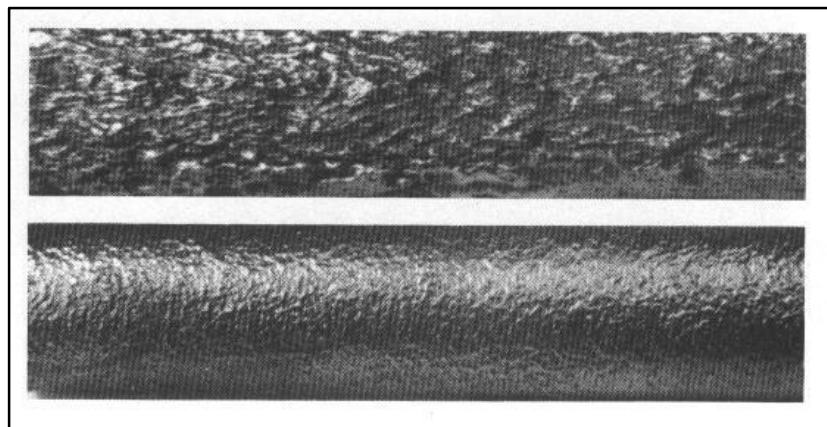


Fuente: R. Winston Rivie

3.5.4. Ácidos - 15% HCl y Ácidos Gastados

Con ácido fresco, no inhibido, el ataque es severo y rápido. La superficie está profundamente agrietada con punzadas parecidas a agujas afiladas. Con ácido gastado, el ataque, aunque rápido, es de tipo menos dañino en la superficie.

Figura 3.6. Ácidos - 15% HCl y Ácidos Gastados

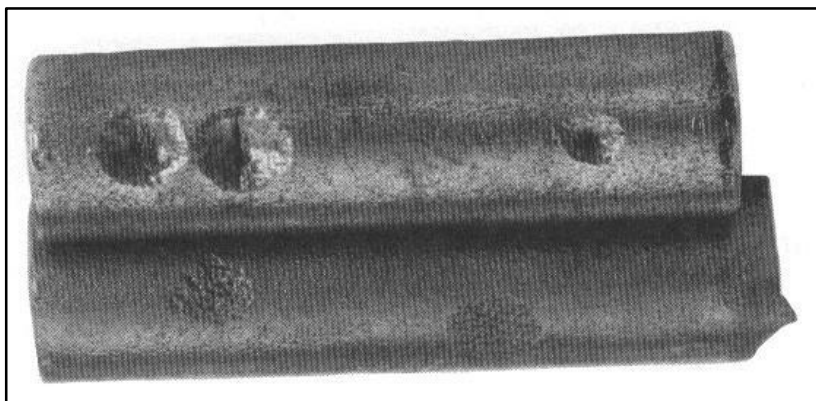


Fuente: R. Winston Rivie

3.5.5. Bacterias Sulfato - Reductoras

El área atacada está cubierta con un revestimiento de producto corrosivo negro e impenetrable. En la fase inicial de la infestación, la superficie de acero tiene una superficie moteada como la abajo ilustrada. A medida que el ataque progresa, puede desarrollarse un tipo de daño por picadura más convencional, como se muestra en la ilustración superior. Sin embargo, el borde exterior del daño de la picadura todavía exhibe una apariencia moteada, estableciendo que la causa inicial fue el desarrollo de bacteria.

Figura 3.7. Bacterias Sulfato - Reductoras

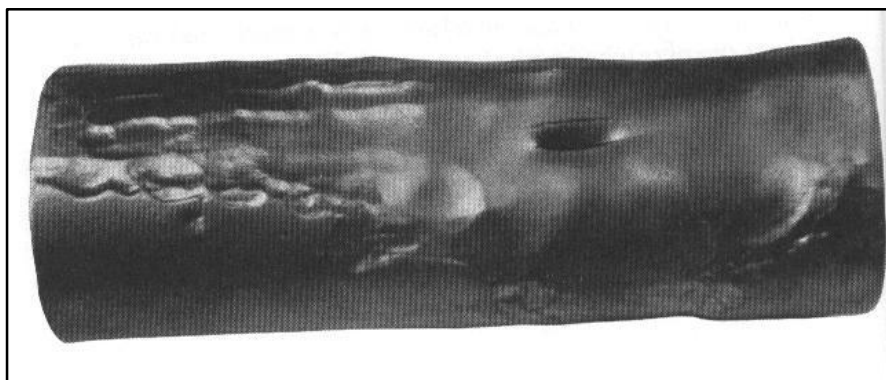


Fuente: R. Winston Rivie

3.5.6. Corrosión / Erosión – Efecto de Alta Velocidad

Con fluidos de alta velocidad, el tipo de corrosión puede ser disfrazado por la erosión. El producto de la corrosión formado se gasta continuamente, generando una superficie suave. Esto presenta continuamente un metal limpio con una tasa alta de pérdida de metal.

Figura 3.8. Corrosión / Erosión – Efecto de Alta Velocidad



Fuente: R. Winston Rivie

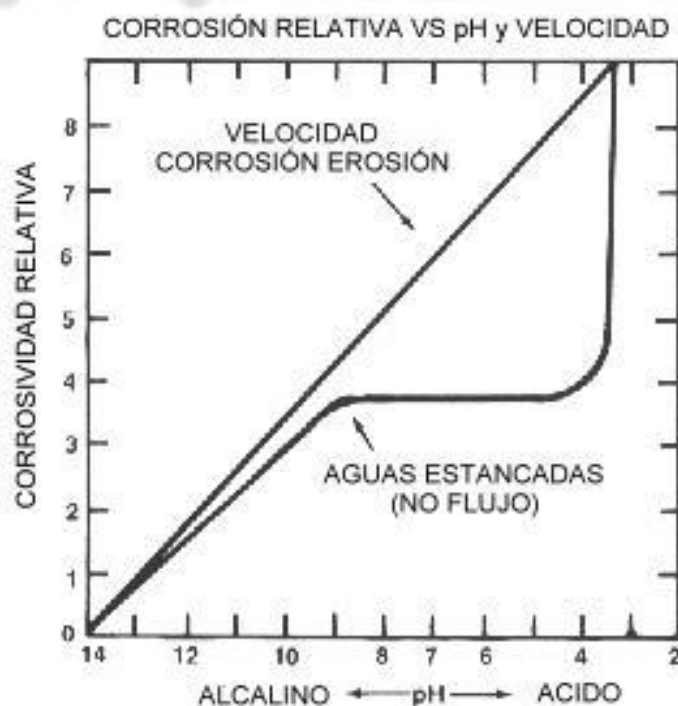
3.5.7. Corrosividad vs. pH del Agua

Al mojarse los equipos de campo con agua, siendo esto el principal requerimiento para corrosión, su acidez - pH, es una medida realmente hecha para determinar el significado del ataque. Para sólidos libres de agua a velocidades de 3 pie / segundo o menor, las siguientes “Reglas Prácticas” son aplicables:

pH 7.0 o Mayor	-	Corrosión Significativa Improbable
pH 7.0 a 6.5	-	Corrosión Menor posible
pH 6.5 a 6.0	-	Corrosión Moderada con Posible Picadura
pH 6.0 o Menor-	-	Corrosión Significativa con Probable Picadura

La figura abajo mostrada indica el efecto del incremento de la velocidad en la tasa de corrosión. Desde aproximadamente 3 a 7 pie / segundos, el agua está en un rango de transición entre laminar y flujo turbulento total y la relativa tasa de corrosión estaría entre el Agua Estancada y la condición Corrosión / Erosión. La curva superior será la condición limitante hasta velocidades en las cuales la erosión del metal comenzará.⁸

Gráfico 3.1. Corrosión Relativa Vs pH y velocidad



Fuente: R. Winston Rivie

3.5.8. Corrosión vs. Sulfuro de Hidrógeno y Dióxido de Carbono

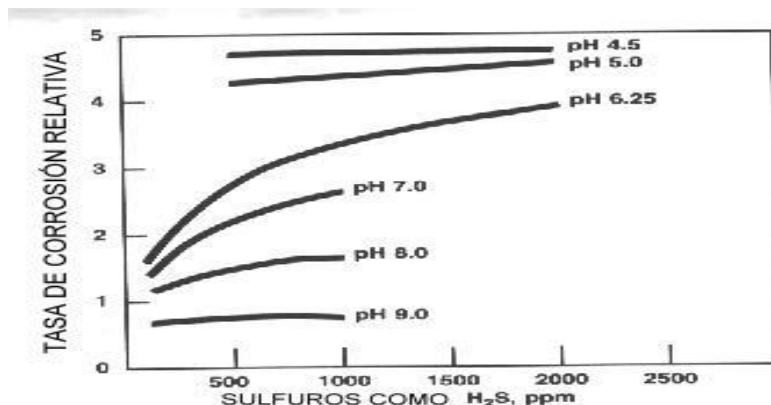
El Sulfuro de Hidrógeno y el Dióxido de Carbono son los únicos componentes ácidos contenidos en cualquier cantidad significativa en los yacimientos de petróleo y gas. Las cantidades normalmente varían desde trazas diminutas hasta 5%. La corrosividad (pH) del agua producida es una función de las cantidades de estos dos gases en solución. Sin embargo, la tasa de pérdida del metal, tipo y ubicación son controlados por otros factores tales como, temperatura, presión, susceptibilidad del metal e inicio de las condiciones de picadura como se anotó en el punto 2.4.2.

Los ejemplos detallados a continuación son de pruebas de laboratorio realizadas a bajas presiones y a temperatura ambiente. Como tal, los valores específicos no tienen relación con las condiciones de operación de los campos. Sin embargo, la tasa de cambio mostrada puede ser considerada como aproximaciones razonables de cambio de la tasa de corrosión que puede anticiparse para cambios similares en las variables de operación.

1. Corrosividad del Sulfuro de Hidrógeno

Al considerar el gráfico de abajo, la mayoría de las corrosiones ácidas tendrán menos de 2000 ppm de H₂S y estarán en el rango de pH (5.0 - 6.5). Asumiendo un promedio de 6.25 de pH, un incremento desde una traza de H₂S a 2000 ppm incrementaría la tasa de corrosión por un factor de 4. La curva indica que para un contenido de H₂S sobre 100 ppm, la corrosión sería significativa. Probablemente sería un ataque de picadura.

Gráfico 3.2. Tasa de corrosión relativa

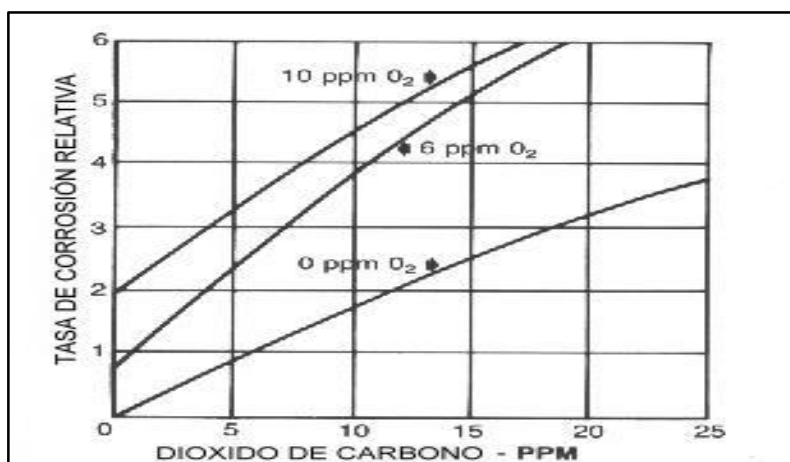


Fuente: R. Winston Rivie

2. Corrosividad del Dióxido de Carbono

Con la cantidad de Dióxido de Carbono en solución, como función de la presión y la temperatura en el sistema, la medida de pH en una muestra de agua es engañosa y no debe ser considerada. Cuando algo más que trazas de CO₂ están presentes, el pH del agua sea en pozos o oleoductos, será marcadamente más bajo que las mediciones aún en muestras de agua fresca. La figura ilustra la tasa de incremento de corrosión que ocurre al incrementar el contenido de CO₂ en el agua y también cómo el oxígeno que entra en el agua, por contacto con el aire, luego incrementa la tasa de pérdida de metal. La curva de 10 ppm de O₂ es para la máxima solubilidad que pueda esperarse en las operaciones de rutina de los campos.

Gráfico 3.3. Tasa de corrosión Relativa

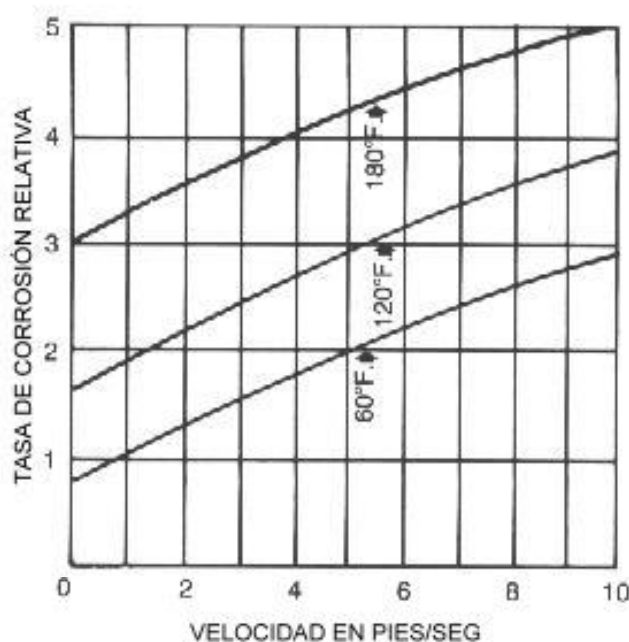


Fuente: R. Winston Rivie

3.5.9. Tasa de Corrosión vs. Velocidad y Temperatura

La siguiente figura ilustra el efecto tanto del incremento de velocidad como de la temperatura en las tasas de pérdida de metal. Las pruebas en agua de mar en un sistema cerrado serían para un pH en un rango de 7.0 a 8.0, sin presencia de oxígeno. El tipo de ataque para tasas de flujo menores a 3 pie / segundo. La tasa de incremento de temperatura sería del mismo orden de magnitud para todas las condiciones corrosivas. Sin embargo, el efecto de la velocidad sería incrementado marcadamente para llegar a condiciones más corrosivas debido al fenómeno de corrosión / erosión. A continuación, se muestra en la grafica el efecto de la velocidad con respecto a la tasa de corrosión.

Gráfico 3.4. Tasa de Corrosión vs. Velocidad y Temperatura



Fuente: R. Winston Rivie

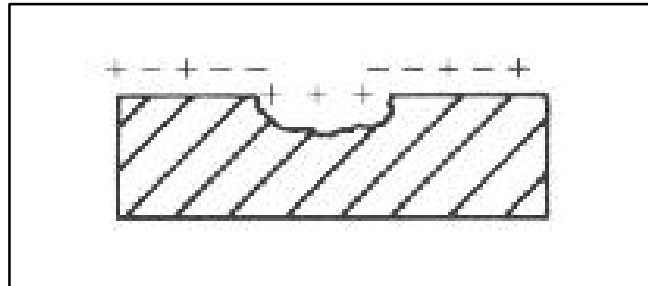
3.5.10. Tasa de Aceleración del Desarrollo de la Picadura

La causa principal de todas las fallas de corrosión en las operaciones petroleras es el tipo de ataque por picadura. En las operaciones donde el equipo está bajo permanentes o repetidos estiramientos, debido a presión o acción mecánica, la picadura puede ser la causa principal de una falla prematura. Las picaduras bajo estas condiciones desarrollan el efecto por incremento de tensiones, que reducen marcadamente la falla por tensión de un elemento teóricamente calculada. Este tipo de falla por incremento de tensión es ampliamente reconocido y donde puede ocurrir, se hace todo esfuerzo para minimizar la corrosión.

Sin embargo, es frecuente el pasar por alto en equipos no sometidos a tensión, el que las picaduras también puedan causar fallas prematuras en los equipos. Esto refleja una falta de entendimiento de la tasa de incremento de la penetración de la picadura en el acero a medida que progresa la corrosión. Como se nota en el punto APARIENCIA DE LA PÉRDIDA DE METAL POR CORROSIÓN, H₂S, CO₂ y Sulfato Reductores, los principales agentes corrosivos en campos petroleros, generalmente desarrollan un tipo de ataque por picadura. Como se ilustra a continuación, a medida que la picadura profundiza, la tasa de iones ferrosos que ingresan al agua se mantiene constante. Sin embargo, el área de superficie de un ánodo que suministra iones ferrosos continuamente disminuye. Esto incrementa

la tasa de penetración de la picadura y puede resultar en una falla rápida y prematura del equipo. Esto puede ocurrir aun cuando la tasa de corrosión total del sistema se mantenga baja.

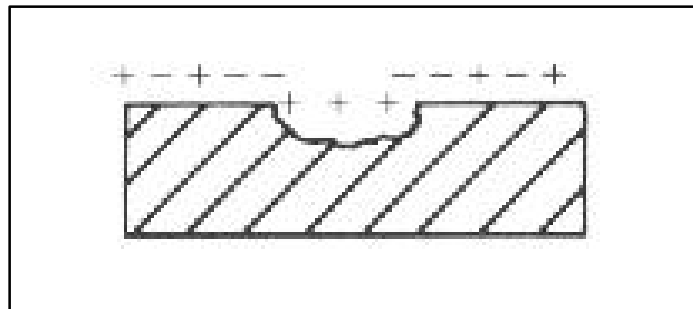
Figura 3.9. Tasa Creciente de Penetración con Desarrollo de la Picadura



Fuente: R. Winston Rivie

Área anódica grande, tasa de pérdida de metal y lenta penetración de la picadura.

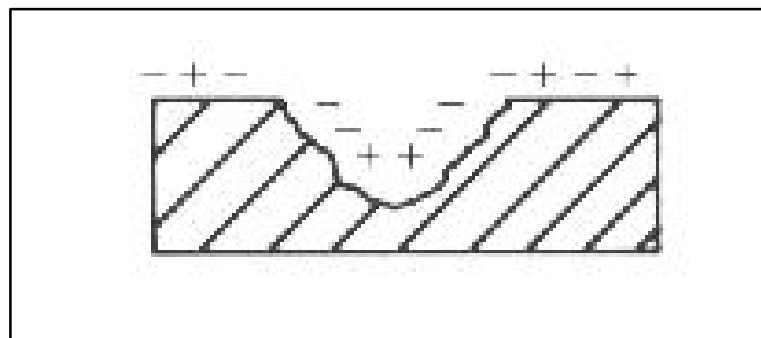
Figura 3.10. Tasa Creciente de Penetración con Desarrollo de la Picadura



Fuente: R. Winston Rivie

Decrece el área anódica, se extiende el área catódica hacia la parte inferior de la picadura. Incrementa la tasa de penetración.

Figura 3.11. Tasa Creciente de Penetración con Desarrollo de la Picadura

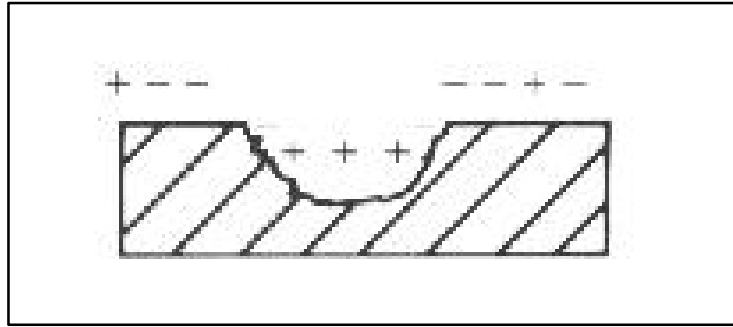


Fuente: R. Winston Rivie

Área anódica confinada a la parte inferior de la picadura. Ataque en la tasa de pérdida de metal y penetración en las paredes.

NOTA: El producto de la corrosión que normalmente cubre o rellena las picaduras no se muestran en estas ilustraciones

Figura 3.12. Tasa Creciente de Penetración con Desarrollo de la Picadura



3.6. SENSIBILIDAD AL HIDRÓGENO

La sensibilidad espontánea, ampliamente difundida, fue encontrada primeramente en la producción industrial a finales de los años 30. Esto fue, generalmente asociado con aceros de tensión alta que producen petróleo y gas ácidos (H_2S). Inicialmente, estos no fueron identificados como Sensibles al Hidrógeno, por lo que una variedad de nombres fueron utilizados para identificar las fallas tales como: rompimiento por tensión de sulfuro, rompimiento por corrosión de sulfuro, rompimiento por sulfuro y rompimiento por tensión corrosión de sulfuro. Mientras que este tipo de falla, se la conoce ahora como una forma de sensibilidad al hidrógeno, una diversidad de nombres todavía se usan en el campo de forma general.

Hay varias hipótesis para la sensibilidad al hidrógeno y todas concuerdan que el fenómeno se inicia por difusión de hidrógeno dentro del acero. Mientras que el hidrógeno puede provenir de un número de fuentes, en fallas de campos petroleros, normalmente se asocian con metales humedecidos con agua ferrosa. Mientras que la reacción electroquímica es también la causa de pérdida de metal por corrosión, donde el acero es susceptible a la sensibilidad al hidrógeno y bajo suficiente tensión, las fallas son relativamente rápidas y antes de que se dé una pérdida significativa de metal. La investigación y las pruebas de campo han establecido especificaciones rigurosas para prevenir la corrosión por sensibilidad al hidrógeno. Los detalles del fenómeno van más allá del alcance de esta publicación. A continuación hay una lista de factores que controlan la sensibilidad al hidrógeno y en el Capítulo VI se listan los grados API de las cabillas de bombeo mecánico y tuberías de completación y su susceptibilidad a este tipo de falla.

3.7. FACTORES QUE CONTROLAN LA SENSIBILIDAD AL HIDRÓGENO

1. Esfuerzo de Fluencia - Aceros con esfuerzo de fluencia de 90.000 psi o menos, generalmente no son susceptibles a la sensibilidad al hidrógeno.
2. Dureza - La dureza máxima debe ser de Rc -22 o menos.
3. Nivel de Tensión - Con aceros susceptibles a fallar, hay un nivel de tensión por debajo del cual, las fallas no ocurrirán. Esto es una función del esfuerzo de fluencia del acero y decrece a medida que se incrementa el rendimiento.
4. Tensiones Internas - Aceros susceptibles a tensiones pueden fallar debido a tensiones internas causadas por soldadura, trabajo en frío, dobleces o daños de superficie por efecto de herramientas o manejo.
5. Concentración de hidrógeno - El tiempo para fallas es una función de la concentración de hidrógeno. Sin embargo, con aceros susceptibles, las fallas ocurrirán inevitablemente si hay presencia de hidrógeno y se excede el límite de tensión.
6. Temperatura - La investigación y experiencia de campo indican que las fallas no ocurrirán sobre 150°F.

3.8. CORROSIÓN GALVÁNICA

Una fuente de fallas generalmente descuidada en los equipos de campo, donde el agua está involucrada, es la asociada con acoplamiento de metales diferentes. Las fallas por ataque galvánico son usualmente asociadas con tuberías pequeñas y dispositivos de control y las cuales no se consideran de serias consecuencias. Sin embargo, esta corrosión se puede evitar fácilmente. La siguiente tabla lista las Series Galvánicas para los metales normalmente usados en equipos de campos petroleros. Se deben hacer todos los esfuerzos para seleccionar metales de relación próxima en estas series. Donde los metales están bastante separados, es vital hacer un arreglo de aislamiento galvánico para que los metales puedan ser utilizados.

CELDA GALVÁNICA EN OPERACIONES DE CAMPO

Magnesio y Aleaciones
Zinc o Metales Galvanizados
Aluminio (aleaciones suaves)
Cadmio o Revestimiento de Cadmio
Aluminio (aleaciones duras)
Acero, hierro colado, hierro forjado
Soldadura (50% plomo, 50% estaño)
Acero inoxidable (Series AISI 300 activa)
Plomo
Estaño
Bronce Naval, Bronce Magnesio, Latón
Bronce Almirante, Bronce Aluminio, Bronce Rojo
Cobre, Bronce Silicona
Inconel, Monel, Acero Inoxidable (Series AISI 300 pasiva)

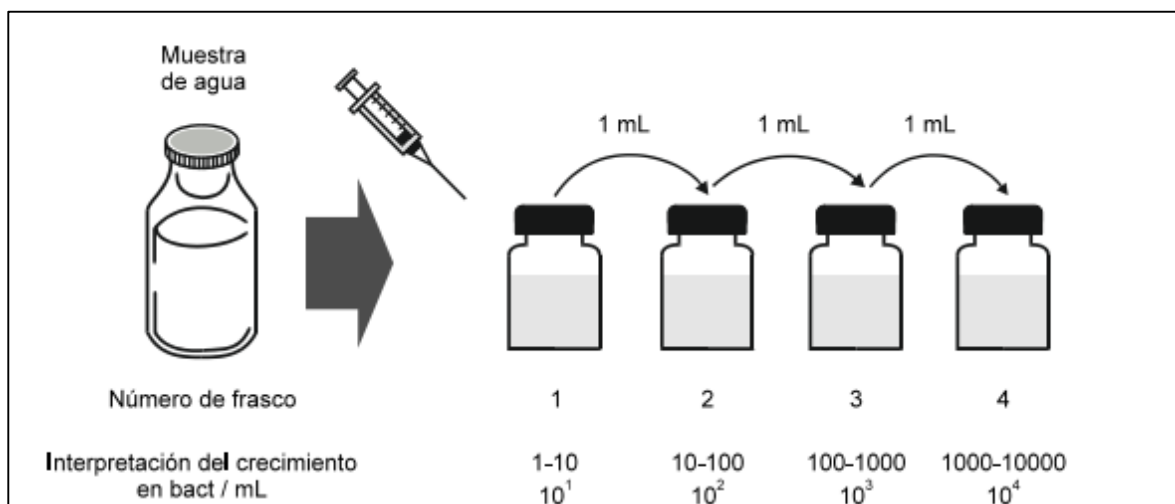
4.2. RECUENTO DE BACTERIAS POR EL MÉTODO DE DILUCIÓN POR EXTINCIÓN – MÉTODO API RP38

Mediante el uso de esta técnica de simple ejecución y fácil interpretación, se pueden evaluar diferentes grupos bacterianos según el medio de cultivo que contenga el frasco. Es aplicable para evaluar bacterias heterotróficas, aerobios totales(BAT), bacterias reductoras de sulfatos(BRS), anaerobias heterotróficas totales(BAnT), etc. Esta técnica está recomendada por el Instituto Americano del Petróleo (API) para evaluar calidad biológica en aguas de inyección en recuperación secundaria y también es ampliamente usada en evaluación de problemas microbiológicos en aguas de refrigeración.

4.2.1. Procedimiento.

La técnica de dilución por extinción consiste en inocular una serie de frascos tipo antibiótico que contienen 9 mL del medio de cultivo apropiado según el tipo de bacteria que se quiera evaluar. Se obtiene 1 mL de la muestra usando una jeringa descartable, estéril, de 1 o 2 mL de capacidad. Se inocula el primer frasco, sin retirar la aguja se agita el mismo, se invierte y se retira 1 mL que se inocula en el 2° frasco. Con una nueva jeringa, se retira 1 mL del frasco N° 2, previamente agitado, y se inocula el frasco N° 3 y así sucesivamente, utilizando una nueva jeringa para cada frasco.

Figura 4.2. Técnica de recuento de bacterias por el método de dilución por extinción



Si no existe información previa sobre cantidad de bacterias/mL de la muestra suelen sembrarse 6 frascos. La manifestación de crecimiento bacteriano se observa por la turbidez del medio de cultivo que se compara por transparencia con un frasco sin inocular en el caso de bacterias aerobias totales y bacterias anaerobias totales; en el caso de bacterias reductoras de sulfatos se debe observar un ennegrecimiento del frasco. Una vez inoculado, los frascos rotulados convenientemente, se llevan a estufa de cultivo a 35°C durante 5 días, efectuando lecturas diarias para observar los que manifiestan desarrollo positivo o hasta 21 días para el caso de bacterias reductoras de sulfatos.

4.2.2. Cálculos de densidad bacteriana.

Se tienen en cuenta los frascos que manifiesten alguna modificación como consecuencia del crecimiento bacteriano; esta modificación puede ser turbidez, cambio de color, ennegrecimiento, etc. Por ejemplo: si se usó el medio BAT-RF y se observa turbidez y/o cambio de color hasta el frasco N° 4 el resultado sería 1000-10000 bact/mL o exponencialmente 10^3 - 10^4 bact/mL. Habitualmente se informa 10000 bact/mL o 10^4 bact/mL. Problemas comunes en la interpretación del crecimiento

bacteriano cuando se utiliza la técnica de dilución por extinción. Hay una variedad de acontecimientos que interfieren con la interpretación de resultados obtenidos utilizando las diluciones seriadas. Algunos de los más comunes son:

Todos los frascos muestran crecimiento. Si esto sucede, no es posible estimar la población, por ejemplo si en una serie de 6 frascos inoculados todos se manifiestan positivos se debe informar: $\geq 10^6$ bact/mL. Para el próximo análisis de esa muestra habría que considerar el empleo de 8 o 9 frascos. Un frasco no denota crecimiento y el resto sí. Algunas veces uno de los frascos permanece sin cambios mientras que los ubicados anterior y posteriormente en la serie inoculada muestran positividad. Es decir, hay un “salto” en los frascos positivos. Este “salto” debe ser anotado y se informará la concentración bacteriana correspondiente al frasco de mayor numeración que resultó positivo. Por ejemplo: El crecimiento positivo se observa en los frascos 1, 2 y 4 mientras los frascos 3, 5 y 6 permanecen sin modificaciones, todo después de incubar a la temperatura y tiempo adecuado. Hay varias explicaciones posibles para esto, incluyendo una contaminación accidental del frasco 4. Por lo tanto, nunca se puede saber que ocurrió realmente y hay que proceder de la forma más simple ante una situación dudosa. En el ejemplo anterior si se confía razonablemente en que los frascos fueron rotulados apropiadamente con su número de orden el informe será 10^4 bact/mL anotando el frasco que “saltó”.

CAPITULO V

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

5.1 COSTO DE INVERSIÓN

A continuación, los equipos e instalaciones para mejorar y preservar los equipos de la Planta de Tratamiento y PIAS Carrizo

Cuatro (04) Inyectores de Química: \$/. 40,000

Cuatro (04) Bomba de dosificación: \$/. 10,000

Caseta para instalación de Bomba de Oficinas: \$/. 30,000

Cañerías e instalación: \$/. 10,000

Total Inversión: \$/. 90,000

5.2. COSTO OPERATIVO

90 Cilindros (Drum) de Biocidas = \$/ 27,000

Personal: \$/. 36,000

5.3. COSTO DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento de los inyectores de química y líneas anual: \$/. 7300

5.4. MEJORAS

Ahorro por mantenimiento de cambio de fondo: 198,000

Ahorro por ducto: 45,000

5.5 PARÁMETROS ECONÓMICOS

Interés: 11%

Tiempo de vida del proyecto: 10 años

5.6 VAN, TIR Y PAY OUT

PROYECTO EVALUACION DEL RECUENTO DE BACTERIAS POR EL MÉTODO DE DILUCIÓN POR EXTINSIÓN -METODO API RP38 PARA EL USO DE BIOCIDAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO CARRIZO LOTEX"									
Evaluación Económica									
Inversiones :		Cantidad	Costo (Mus\$)	%	Ahorro		Mus\$	11.7%	
Inyectores de quimicas		4	10.00	40.0	Reparacion de Tks		155.0		
Bombas de dosificación		4	2.50	10.0	Reparación de Lineas		45.0		
Cañerías e Instalación		1	10.00	10.0				Costo de Mantenimiento 7.3	
Oficina y caseta		1	30.00	30.0				Costo operativo 63.0	
Sub Total				90.0					
Imprevistos (5%)				4.5					
Total				94.50	Total		200.0		

Año	Ingresos	Egresos	Flujo Caja	FCA	FCAA			
2006	0		94.5	-94.5	-94.5			
2007	1	200.0	70.3	129.7	116.1			
2008	2	200.0	70.3	129.7	104.0	VAN	647	Mus\$
2009	3	200.0	70.3	129.7	93.1	TIR	137%	
2010	4	200.0	70.3	129.7	83.3	PAY-OUT	0.81	años
2011	5	200.0	70.3	129.7	74.6			
2012	6	200.0	70.3	129.7	66.8			
2013	7	200.0	70.3	129.7	59.8			
2014	8	200.0	70.3	129.7	53.5			
2015	9	200.0	70.3	129.7	47.9			
2016	10	200.0	70.3	129.7	42.9			
2017	11							
2018	12							
2019	13							
2020	14							
2021	15							
2022	16							
2023	17							
2024	18							
2025	19							

De acuerdo con la corrida mostrada tenemos los siguientes indicadores económicos

VAN: 647 M\$/.

PAYOUT: 0.81 Años

TIR: 137%

De acuerdo con los indicadores el proyecto es rentable

CONCLUSIONES

- ❖ La técnica de dilución por extinción permite una estimación del número de bacterias planctónicas, es decir, las que se encuentran dispersas en el agua. Debido a que la mayoría de las bacterias en un sistema podrían ser bacterias sésiles adheridas a superficies sólidas, este método no evalúa el número real de las bacterias del sistema. No obstante, es una técnica de simple instrumentación, que provee resultados de fácil interpretación y que ha demostrado ser un indicador muy útil para conocer los niveles de actividad bacteriana. Generalmente el número absoluto de bacterias en una muestra de agua es menos importante que los cambios en la población. Si el número de bacterias incrementa a través del sistema desde la fuente de agua hacia otros sitios de extracción de muestra lejanos a la misma, indica que un activo crecimiento bacteriano está sucediendo en el sistema. De la misma manera, un incremento en los recuentos bacterianos a través del tiempo en un punto dado del sistema es un buen indicador de un activo crecimiento.
- ❖ Los recuentos de BAT menores a 104 bact./mL, no son considerados significativos para aguas no tratadas. Como regla general, un recuento de 105 bact./mL indica una posibilidad cierta de taponamiento y la necesidad de implementar un tratamiento con biocidas. Se debe iniciar un examen para determinar cualquier pérdida de inyectividad y observar cualquier evidencia de aumento en la presión de inyección o taponamiento de filtros. Debe recordarse, que algunas bacterias formadoras de limo (slime) sólo crecen sobre superficies sólidas (sésiles) y pueden no ser detectadas con esta técnica.
- ❖ La presencia de una sola BRS es considerada como fuente de un problema potencial. Debe recordarse que las BRS en su mayoría se encuentran como bacterias sésiles y que este método sólo detecta los componentes planctónicos de su población. Por esta razón, cuando las bacterias planctónicas presentan altos recuentos es que hay un mayor número adheridas a las paredes del sistema(sésiles) por cada una de las que se encuentran dispersas en el agua (planctónicas). Contrariamente, los bajos recuentos de bacterias no significan que no haya problemas bacterianos. Puede ser que estas bacterias estén tan firmemente establecidas bajo depósitos que muy pocas bacterias se desprendan de la comunidad sésil, causando recuentos bajos en el agua. Otra evidencia de la seriedad del problema ocasionado por las BRS son los niveles de SH₂ y el “agua negra” debida a la presencia de sulfuro de hierro en el agua. Una vez que las BRS son detectadas, debe prestarse mucha atención e instrumentar un estrecho seguimiento de las mismas y si su recuento y niveles de SH₂ se incrementan es necesario adoptar un tratamiento de control.

RECOMENDACIONES

- ❖ Si el primer frasco con un medio de cultivo para BRS se ennegrece dentro de las 2 horas de haber sido inoculado con 1 mL de agua muestra, este ennegrecimiento no es producto del crecimiento bacteriano dentro del frasco; el color negro es debido al SFe proveniente de altos niveles de SH₂ en la muestra de agua que reaccionó con el Fe disuelto en el caldo de cultivo. En estos casos se pueden seguir dos cursos de acción: Proceder con las diluciones seriadas. Los frascos 2 a 6 permanecerán generalmente sin cambios y pueden ser usados para detectar el crecimiento bacteriano incubándolos a temperatura y tiempo adecuado y observando ennegrecimiento en los mismos transcurrido el tiempo de incubación. Colectar por lo menos 50 mL de agua en un frasco estéril y agregarle una tableta de Alka-Seltzer que puede despojar la mayoría del SH₂ de la muestra. Cuando la tableta cesa de burbujear, retirar 1 mL de agua con jeringa estéril y llevar a cabo el procedimiento habitual de las diluciones seriadas.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Kühr von W. y Vlugt vander. 1934. The graphitization of cast iron as an electrochemical process in anaerobic soils. *Water*. 147-165
- Zhu, X.Y.; J. Lubeck y J.J. Kilbane II. 2003. Characterization of microbial communities in gas industry pipelines. *Appl. Environmental Microbiol.* 6(9):5354-5363.
- ❖ Little B., Wagner P. y Mansfeld F. 1992. Test methods for microbiologically influenced corrosion (MIC) in marine environments. *Material Science Forum*. Volumes 111- 112. *Electrochemical Methods in Corrosion Research IV*. Ed.Olof Forsén. Trans Tech publication
- ❖ Axelsen S. B. y Rogne T. 1998. Do micro-organisms “eat” metal?. Microbiologically influenced corrosion of industrial material, Contract No. BRRT-CT98-5084.
Web: http://www.corr-institute.se/english/Web_DT/files/mechanisms
- ❖ Videla H. A y Characklis W. G. 1992. Biofouling and microbially influenced corrosion. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 29:195-212.
- ❖ Holt J. G., Krieg N. R., Sneath P. H. A., Staley J. T. y Williams S. T. 1994. *Bergey’ Manual of determinative bacteriology*. 9th edition. Williams and Wilkins.
- ❖ Dilling W. y Cypionka. 1990. Aerobic respiration in sulfate-reducing bacteria. *FEMS Microbiology Letters*. 71:123-128.
- ❖ Gibson G.R. 1990. Physiology and ecology of sulphate-reducing bacteria. *Journal of Applied Bacteriology*. **69**:769-797.
- ❖ Costerton J. W., Lewandowski Z., Caldwell D. E., Korber D. R. y Lappin-Scott H. M. Microbial biofilms. 1995. *Annu. Rev. Microbiol.* **49**:711-745
- ❖ Beveridge Terry J. 1997. Interaction between biofilms and the environment. *FEMS Microbiology Reviews*. **20** (3-4):291-303.}
- ❖ Elvers Karen T. y Lappin-Scott Hilary M. 2000. Biofilms and Biofouling. *Encyclopedia of Microbiology*. **1**:478-485
- ❖ Donlan Rodney M. 2002. Biofilms: Microbial Life on Surfaces. *Emerging Infectious Diseases*. **8**(9): 881-890.
- ❖ Kang S., Agarwal G. Hoek E.M.V. y Deshuesses M. A. 2003. Initial Adhesion of microorganisms to polymeric membranes. *Chemical and Environment Engineering*, University of California, Riverside
- ❖ Matthyse A. G. 1992. Adhesion, bacterial. *Encyclopedia of Microbiology*, Volume 1. Academic Press Inc. pp:29-36